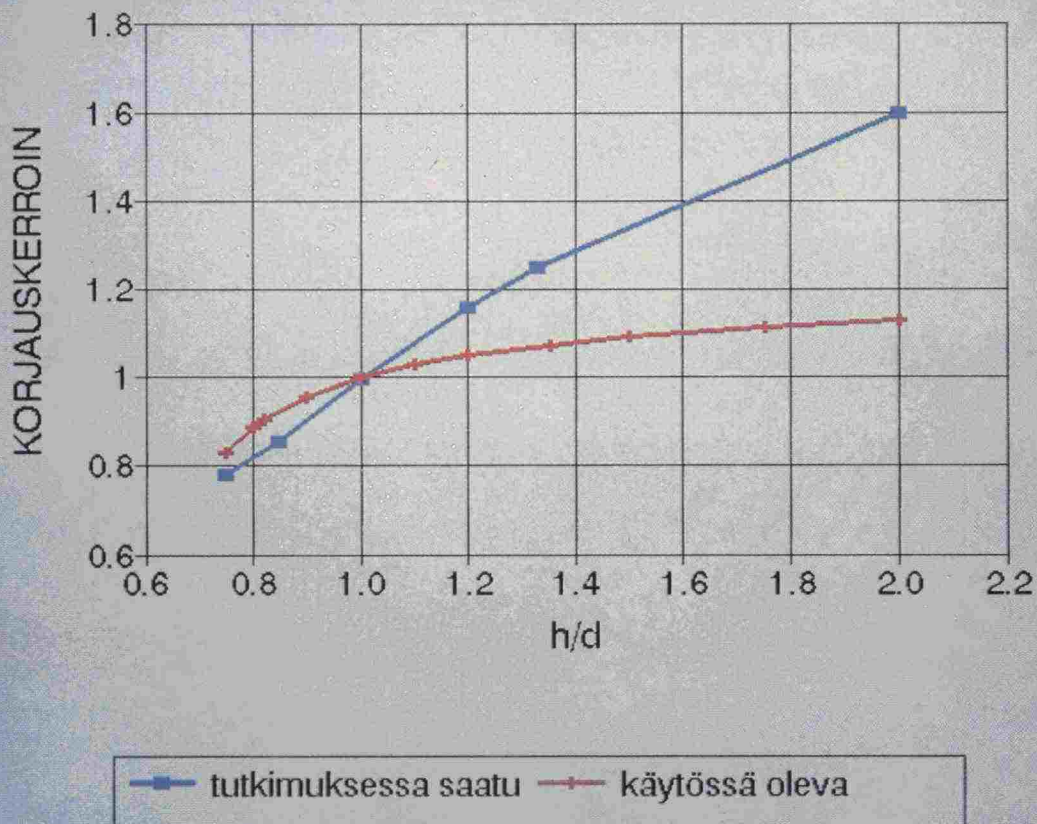




**Tielaitos**

Risto Alkio

## Stabiloidun materiaalin maksimiraekoon sekä koekappaleen koon ja muodon vaikutus puristuslujuuteen



Tielaitoksen  
selvityksiä

41/1993

Helsinki 1993

Geokeskus

Tielaitoksen selvityksiä  
41/1993

Risto Alkio

**Stabiloidun materiaalin maksimiraekoon  
sekä koekappaleen koon ja muodon  
vaikutus puristuslujuuteen**

Tielaitos  
Geokeskus

Helsinki 1993

ISSN 0788-3722  
ISBN 951-47-7678-X  
TIEL 3200166  
Painatuskeskus Oy  
Helsinki 1993

Julkaisua myy:  
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,  
painotuotemyynti  
Telefax (90) 1487 2652

**Tielaitos**

Opastinsilta 12 A  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puh. vaihde (90) 148 721

**ALKIO, Risto: Stabiloidun materiaalin maksimiraekoon sekä koekappaleen koon ja muodon vaikutus puristuslujuuteen.**

Helsinki 1993, Tielaitos, Geokeskus. Tielaitoksen selvityksiä 41/1993, 35 s. + liitt., ISBN 951-47-7678-X, ISSN 0788-3722, TIEL 3200166

**Avainsanat** stabilointi, koekappaleen muoto, raekoko

## **Tiivistelmä**

Tutkimuksessa selvitettiin stabilointikoekappaleen koon ja muodon sekä materiaalin maksimiraekoon vaikutusta puristuslujuuteen. Tutkimus oli jatkoa aikaisemmille stabilointiaiheisille selvityksille.

Tutkimuksessa suhteitettiin kolme rakeisuuskäyrää maksimiraekooltaan 16, 32, ja 64 mm. Kiviaineksena oli sora. Raekoon lisäksi muuttujina olivat koekappaleen h/d -suhde ja halkaisija sekä sideainepitoisuus ja koestusikä.

Näytteen korkeus/halkaisija-suhteella on oleellinen merkitys puristuslujuuteen. Mitä pienempi suhde sitä suurempi lujuus. Tulosten pohjalta laadittiin korjauskäyrä h/d -suhteen vaikutuksen eliminoimiseksi. Laadittu käyrä poikkesi huomattavasti käytössä olevasta korjauskäyrästä.

Näytteen maksimiraekoolla oli vain vähäinen vaikutus puristuslujuuteen. Sen sijaan näytteen halkaisija vaikutti tuloksiin siten, että pienemmällä näytekoolla tuli aina suurempia lujuusarvoja kuin suuremmalla näytekoolla.

Lujuustulosten hajontaan vaikuttivat maksimiraekoko, sideainepitoisuus ja näytekoko. Näytekoon halkaisijan tulisi olla vähintään kaksi kertaa maksimiraekoko.



## **Alkusanat**

Stabiloinnin suosio kasvaa tiestön kuormituksen kasvaessa ja käyttökelpoisen rakennusmateriaalin saannin vaikeutuessa. Onnistuneeseen stabilointiin kuuluu laadunvalvonta, jonka oleellisena osana on koekappaleiden valmistus ja koestus. Stabilointimateriaalien ollessa moninaiset ja muotti- ja koekappalekoon vaihdellessa tulee koekappaleiden lujuuteen vaikuttavien tekijöiden olla tiedossa, jotta eri tulokset olisivat vertailukelpoisia. Tutkimus käsittelee koekappaleen koon ja muodon sekä materiaalin raekoon vaikutusta puristuslujuuteen.

Tutkimuksen tilaajana oli Tielaitos. Tutkimusta valvoi ylitarkastaja Reijo Orama Tielaitoksen Geokeskuksesta. Tutkimuksen vastuuhenkilönä ja raportin laatijana Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratoriossa oli erikoistutkija Risto Alkio. Tutkimustulosten ATK-käsittelyssä ja mallintamisessa ovat lisäksi avustaneet tutkija Jarmo Vuorinen ja tutkija Timo Kurki.

## Sisältö

1 JOHDANTO	7
2 AINEOSAT	8
2.1 Kiviaines	8
2.2 Sideaine	9
3 KOEJÄRJESTELYT	10
3.1 Ennakkokokeet	10
3.2 Koesuunnitelma	11
3.3 Koekappaleiden valmistus	13
4 KOKEEN TULOKSET	14
4.1 Koekappaleet	14
4.2 Puristuslujuus	15
5 TULOSTEN TARKASTELU	18
5.1 Koekappaleet	18
5.2 Puristuslujuus	22
5.2.1 Koekappaleen korkeus/halkaisija-suhde	22
5.2.2 Maksimiraeko	24
5.2.3 Näytteen halkaisija	26
5.2.4 Lujuuskehitys	26
5.2.5 Lujuuden hajonta	27
5.2.6 Mallintaminen	30
6 YHTEENVETO	32
7 KIRJALLISUUS	34
8 LIITTEET	35

## 1 JOHDANTO

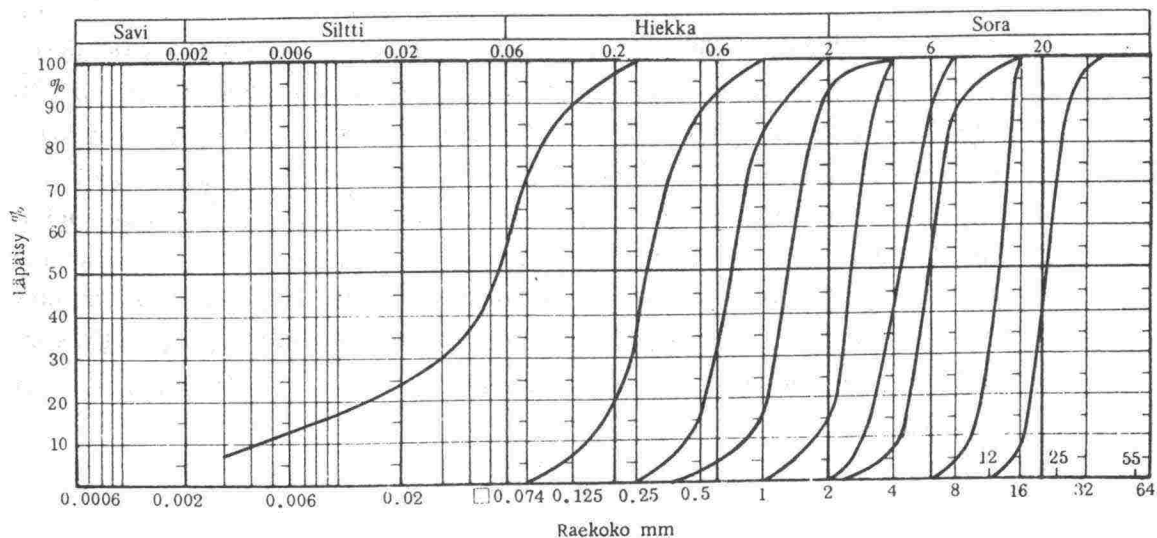
Stabiloinnilla eli kiviaineksen lujittamisella sideaineen avulla voidaan parantaa tien kantavuutta ja vähentää vaurioitumista sekä saada pitkäikäinen rakenneratkaisu. Stabiloinnilla voidaan lisäksi hyödyntää sekundaarisia, sellaisenaan tien- ja kadunrakennukseen kelpaamattomia materiaaleja ja teollisuuden sivutuotteita. Tällainen sellaisenaan vaikeasti hyödynnettävä materiaali on Suomessa yleisesti esiintyvä moreeni. Stabilointi tulee yleistymään tiestön kuormituksen kasvaessa ja etsittäessä taloudellisia, pitkäikäisiä rakenneratkaisuja.

Stabiloinnin onnistuminen edellyttää huolellisia ennakkokokeita ja laadunvalvontaa sekä seuranta. Oleellinen osa tätä prosessia on koekappaleiden valmistus ja koestus. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää näytekappaleen koon ja muodon sekä materiaalin maksimiraekoon vaikutus puristuslujuuteen. Kokeessa materiaalina oli sora, josta suhteitettiin kolme maksimiraekooltaan erilaista massaa. Sideaineena oli yleissementti. Tutkimus on jatkoa aikaisemmille stabilointiaiheisille selvityksille " Moreenimurskeen stabilointikoe" /1/ , " Stabiloidun moreenimurskeen pakkasenkestävyys" /2/ ja " Hienoaineksen vaikutus stabiloidun moreenimurskeen pakkaskestävyyteen" /3/. Selvityksissä on tutkittu jauhetun granuloidun masuunikuonan soveltuvuutta moreenimurskeen stabilointiin sekä kuonalla ja sementillä stabiloitujen moreenimurskeiden pakkaskestävyyttä että hienoainemäärän vaikutusta puristuslujuuteen ja pakkaskestävyyteen.

## 2 AINEOSAT

### 2.1 Kiviaines

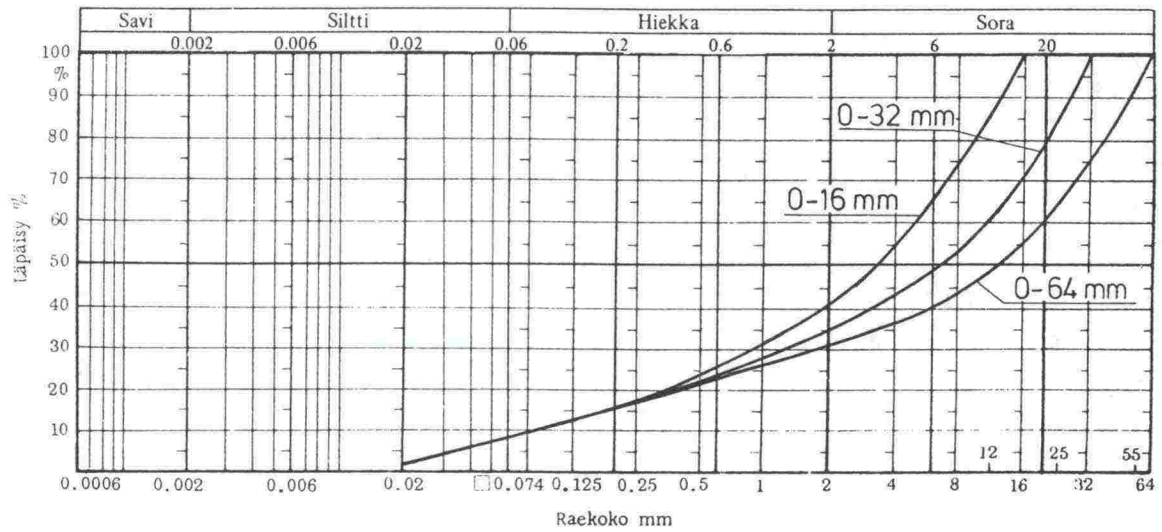
Kiviainekseksi valittiin VTT:n rakennusmateriaalilaboratoriossa käytössä oleva betonin runkoaines käytännön syistä, koska massat ja valut tehtiin samassa paikassa, missä kiviainessiilot sijaitsivat. Kiviaines oli pestyä soraa ja käytettävät lajitteet olivat 0,1 - 0,6, 0,5 - 1,2, 1 - 2, 2 - 3, 3 - 5, 5 - 10, 8 - 16 ja 16 - 32 mm. Lisäksi hienoaineksena käytettiin Uudenmaan tiepiirin Maantiekylän asfalttiasemalta saatua suodatinpölyä sekä myös piirin kautta saatua soralajitetta 32 - 64 mm Orimattilasta. Tämä lajite pestiin ennen käyttöä. Lajitteiden rakeisuuskäyrät, lukuunottamatta lajitetta 32 - 64 mm, on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Kokeessa käytetyn suodatinpölyn ja soralajitteiden rakeisuuskäyrät.

Kokeita varten suhteitettiin kolme rakeisuuskäyrää maksimiraekooltaan 16, 32 ja 64 mm. Käyrämuodoksi otettiin sellainen käyrä, että se noudattelee mahdollisimman hyvin edellisen stabilointitutkimuksen "Hienoaineksen vaikutus stabiloidun moreenimurskeen pakkaskestävyyteen" /3/ peruskäyrää, joka suhteitettiin ns. tiiveimmän pakkauksen mukaisesti. Käyrät poikkeavat toisistaan hienoainesmäärältään (< 0,074 mm) siten, että nyt hienoainespitoisuudeksi valittiin 10 % kun, se moreenitutkimuksessa alimmillaan oli 16 %. Maksimiraekooltaan erilaiset käyrät suhteitettiin siten, että käyrien alaosa 0,5 mm:iin asti pysyi samana ja käyrien muoto oli maksimiraekoko huomioon ottaen mahdollisimman samanlainen. Kokeissa käytetyt rakeisuuskäyrät on esitetty kuvassa 2.





Kuva 2. Kokeissa käytetyt maksimiraekooltaan 16, 32 ja 64 mm:n rakeisuuskäyrät.

## 2.2 Sideaine

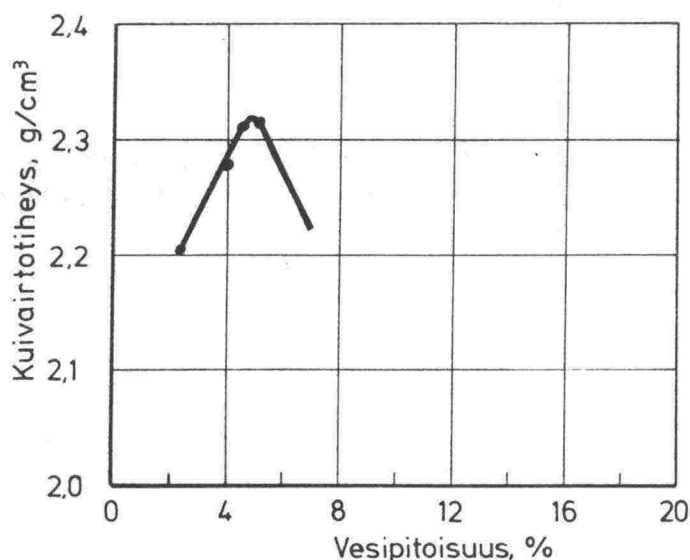
Sideaineena oli Oy Lohja Ab:n yleissementti Y 40/28. Sementissä oli valmistajan mukaan lentotuhkaa ja kalkkikiveä yhteensä enintään 25 %, josta kalkkikiven osuus oli korkeintaan 15 %.

### 3 KOEJÄRJESTELYT

#### 3.1 Ennakkokokeet

Ennakkokokeissa käytettiin suhteitettua, maksimiraekooltaan 16 mm:n kiviainesta. Kiviaineksen kokoa rajoittava seikka oli koekappaleiden valmistuksessa käytettävä muottikoko (100 mm). Sideainepitoisuuden valinnassa tarvitaan materiaalin maksimikuivairtitiheys sekä rakeisuus, jonka jälkeen alustava sideainepitoisuus voidaan määrittää sementtistabilointiohjeiden /4/ nomogrammista.

Maksimikuivairtitiheyden määrittämiseksi materiaalista tehtiin proctor-koe parannetun menetelmän mukaisesti 4" muottia käyttäen ilman sementtiä. Proctor-käyrä esitetään kuvassa 3. Maksimikuivairtitiheydeksi tuli  $2,32 \text{ g/cm}^3$  ja optimivesipitoisuudeksi 5 %.

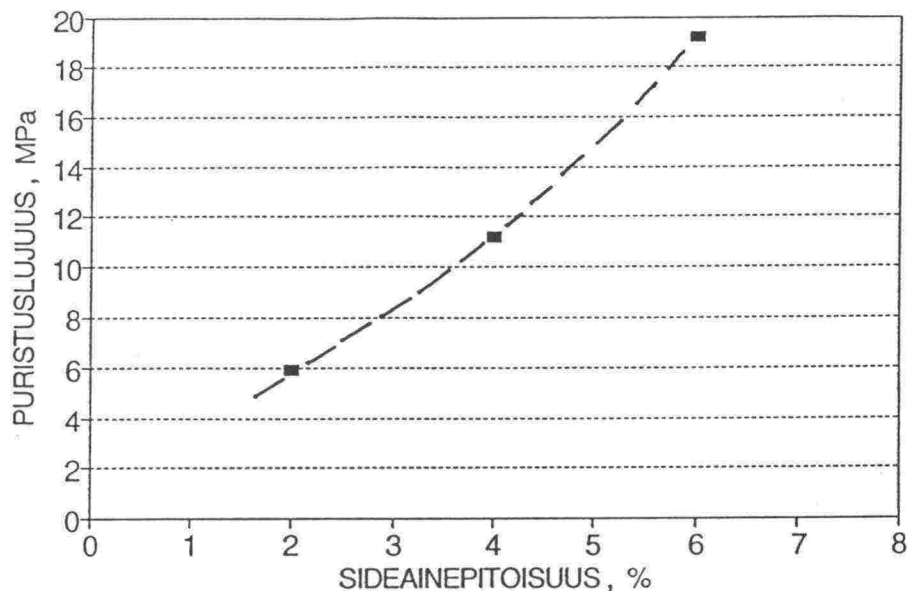


Kuva 3. Maksimiraekooltaan 16 mm:n materiaalin proctor-käyrä.

Alustavassa sementtipitoisuuden valinnassa nomogrammi /4/ antoi sideainepitoisuudeksi 4,7 %. Ennakkokokeiden sideainepitoisuuksiksi tämän perusteella valittiin 2, 4 ja 6 % kiviaineksen painosta. Jokaisen koekappaleen kiviaines suhteitettiin erillisistä lajitteista. Koekappaleet valmistettiin ICT-kiertotiivistimellä 4" muottiin. Vesipitoisuus oli kaikilla sideainepitoisuuksilla 5 %. Koekappaleiden valmistusta varten kiviaineksista ja sideaineesta punnittiin 2200 g:n annokset, joihin lisättiin 5 % vettä. Sekoituksen jälkeen näytteitä tiivistettiin ICT-kiertotiivistimellä siten, että tiheydet olisivat mahdollisimman lähellä proctor-kokeella saatua maksimikuivairtitiheyttä. Kuivairtitiheydet olivat välillä

2,88 - 2,30 g/cm<sup>3</sup>. Liitteessä 1 on esitetty yksittäiset arvot. Näytteiden korkeudet olivat välillä 11,9 - 12,2 cm.

Koekappaleita säilytettiin laboratoriohuoneessa olleissa kannellisissa muovilaatikoissa. Laatikkotila pidettiin kosteana ja säilytyslämpötila oli huoneilman lämpötila. Koekappaleet puristettiin 7 vrk:n vanhoina. Koekappaleiden päät tasattiin rikkilaastilla ja puristusnopeutena oli 0,14 MN/m<sup>2</sup>/s. Kuvassa 4 esitetään puristuslujuus rinnakkaisnäytteiden keskiarvona sideainemäärän funktiona. Liitteessä 1 on esitetty yksittäiset lujuusarvot.



Kuva 4. Maksimiraekooltaan 16 mm massan 7 vrk:n lujuus sideainepitoisuuden funktiona.

Lujuuskehityksen perusteella haluttu 6 MN/m<sup>2</sup> lujuus 7 vrk:n vanhoille näytteille saatiin jo 2 %:n sideainepitoisuudella. Puristuslujuudeksi tuli 5,9 MN/m<sup>2</sup> sekä 4 ja 6 %:n sideainepitoisuuksilla arvoiksi tulivat 11,2 ja 19,2 MN/m<sup>2</sup>. Koekappaleiden korkeuden ja halkaisijan suhde oli keskimäärin 1,20. Käytössä olevasta puristuslujuuden korjauskäyrästä (liite 2) saatiin korjauskertoimeksi 1,05. Tällöin vastaaviksi lujuuksiksi saatiin 6,2, 11,8 ja 20,2 MN/m<sup>2</sup>.

### 3.2 Koesuunnitelma

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää maksimiraekoon sekä koekappaleen koon ja muodon vaikutusta puristuslujuuteen kahdella eri sideainepitoisuudella. Lisäksi tulosten avulla tarkistetaan porakappaleen muodosta riippuvan puristuslujuuden korjauskäyrän oikeellisuus. Ennakkokokeiden perusteella massan sideainepitoisuuksiksi valittiin 2 ja 4 % kiviaineksen painosta sekä







### 3.3 Koekappaleiden valmistus

Massat valmistettiin ennakkosuhteituksen mukaan valmiista lajitteista VTT:n rakennusmateriaalilaboratorion kalliotilaan louhitussa tutkimushallissa. Massat sekoitettiin pakkotasosekoittimessa ensin kuivana puolen minuutin ja veden lisäyksen jälkeen kolmen minuutin ajan. Vesipitoisuus kaikilla massoilla oli 5 % kiviaineksen painosta. Sekoituksen jälkeen massa pudotettiin alla olevaan kuljetinvaunuun, jossa se siirrettiin muottien luo. Sekoittimesta massaa pudotettaessa lajittui varsinkin maksimiraekooltaan suurin massa hyvin voimakkaasti. Suurimmat rakeet erottuivat kasojen reunoille ja hienompi aines kasan keskelle. Lajittuneita massoja sekoitettiin lapiolla uudelleen kuljetusvaunussa.

Massat valettiin puumuotteihin, jotka olivat kooltaan 42 \* 65 \* 20 cm. Myös muottien täyttämisenä oli vaarana materiaalin lajittuminen, joka kuitenkin huolellisella työskentelyllä voidaan välttää. Massat tiivistettiin kahdessa 10 cm:n kerroksessa lisälaitojen avulla. Kerrokset tiivistettiin itsevetävällä 170 kg:n painoisella täryjyrällä. Tiivistyksessä tuli ottaa huomioon se, että massaa ei tiivistetty liikaa. Jokaisesta massasta valettiin neljä laattaa.

Tiivistämisen jälkeen laattojen pinnat kasteltiin ja pinnat pidettiin vanhentamisen ajan kosteana muovipeitteiden ja kastelun avulla. Laatat säilytettiin tutkimushallissa ja säilytyslämpötilana oli hallin lämpötila. Koestamista varten koekappaleet porattiin vuorokautta ennen puristamista VTT:n tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratoriossa pylväsporakoneessa. Pylväsporakoneen käyttö takasi tasaisen porausnopeuden ja ennen kaikkea suorat ja muodoltaan tasaiset koekappaleet. Porauksen jälkeen koekappaleet sahattiin määrämittoihin kiinteällä asfalttisahalla. Ylimääräinen pituus poistettiin aina koekappaleen yläpäästä.

Koekappaleet saivat kuivua huoneilmassa vuorokauden ajan siten, että ne käännettiin ympäri illalla tasaisen kuivumisen varmistamiseksi. Koekappaleiden päät tasattiin ennen puristamista ohuella (> 1 mm) rikkilaastikerroksella. Kappaleet puristettiin VTT:n rakennusmateriaalilaboratoriossa.

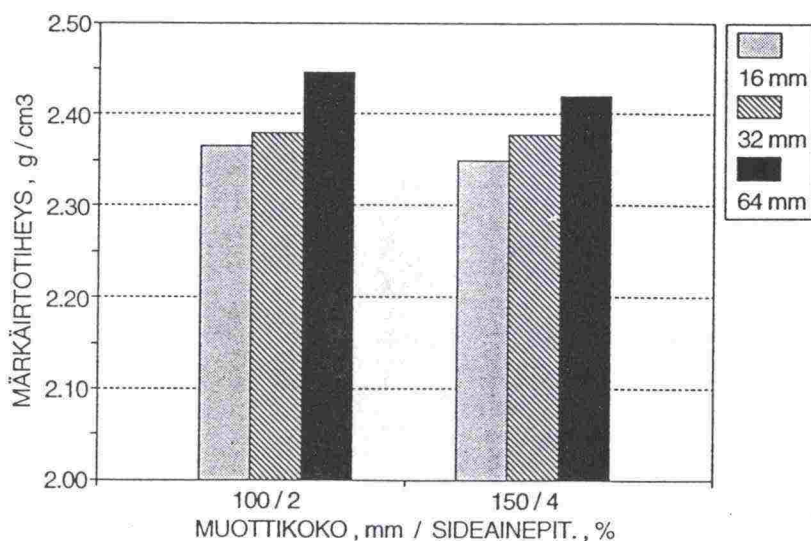
## 4 KOKEEN TULOKSET

### 4.1 Koekappaleet

Koekappaleiden pituudet mitattiin sahauksen jälkeen. Liitteessä 3 on esitetty koekappaleiden pituudet. Vaadittuihin pituuksiin nähden poikkeamat kaikki koekappaleet huomioiden olivat  $\pm 2$  mm. Keskiarvoina laskien halkaisijaltaan 100 mm:n koekappaleilla pituuksiksi saatiin käytetyillä h/d -suhteilla 200,3, 133,0, 84,9 ja 75,1 mm vaatimusten ollessa 200, 133, 85 ja 75 mm. Vastaaavat arvot halkaisijaltaan 150 mm:n koekappaleilla olivat 200,3, 179,3, 127,9 ja 113,2 mm sekä vaatimukset 200, 180, 128 ja 113 mm.

Koekappaleen puristuslujuuteen vaikuttaa myös vesipitoisuus puristushetkellä. Näytteen porauksen ja sahauksen aikana imeytyi kosteutta näytteen pintaosiin jonkin verran. Osasta porakappaleista (6 erilaista massaa) määritettiin vesipitoisuudet heti porauksen ja sahauksen jälkeen sekä ennen puristusta kuivuttuaan huoneilmassa vuorokauden ajan. Määrittäisiin käytettiin sahauksesta ylijääneitä kappaleita. Kuivumisen jälkeen massojen (4 - 5 rinnakkaisnäytettä) vesipitoisuudet olivat välillä 3,3 - 4,1 % keskiarvon ollessa 3,7 %. Yksittäiset arvot olivat välillä 2,8 - 4,3 %. Porauksen ja sahauksen jälkeiseen vesipitoisuus pintamärkyyden poiston jälkeen oli keskiarvona 4,8 % eli noin yhden prosenttiyksikön kosteampi kuin huoneilmakuivauksen jälkeen.

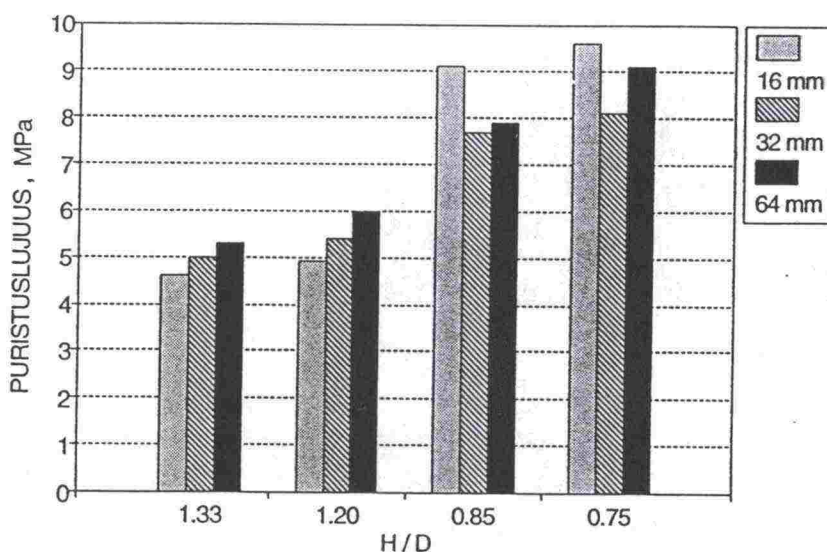
Kaikki 91 vrk:n vanhat näytteet punnittiin ja laskettiin niiden märkäirtotiheydet. Yksittäistulokset ovat liitteessä 3. Lasketut märkäirtotiheydet ovat suuntaa antavia, sillä osasta koekappaleista sahauksessa irtosi reunoista kiviä ja porauksesta johtuen näytteiden pinnat olivat hieman rosoiset. Kuvassa 5 on esitetty massojen lasketut keskimääräiset märkäirtotiheydet. Tiheydet massoilla 16/2 ja 16/4, jossa 16 kuvaa maksimiraekokoa (mm) ja 2 sideainepitoisuutta (%), olivat 2,37 ja 2,35 g/cm<sup>3</sup>. Vastaaavat arvot massoille 32/2 ja 32/4 olivat 2,38 ja 2,38 g/cm<sup>3</sup> sekä massoille 64/2 ja 64/4 2,45 ja 2,42 g/cm<sup>3</sup>.



Kuva 5. Koekappaleista (91 vrk) lasketut märkäirtotiheydet.

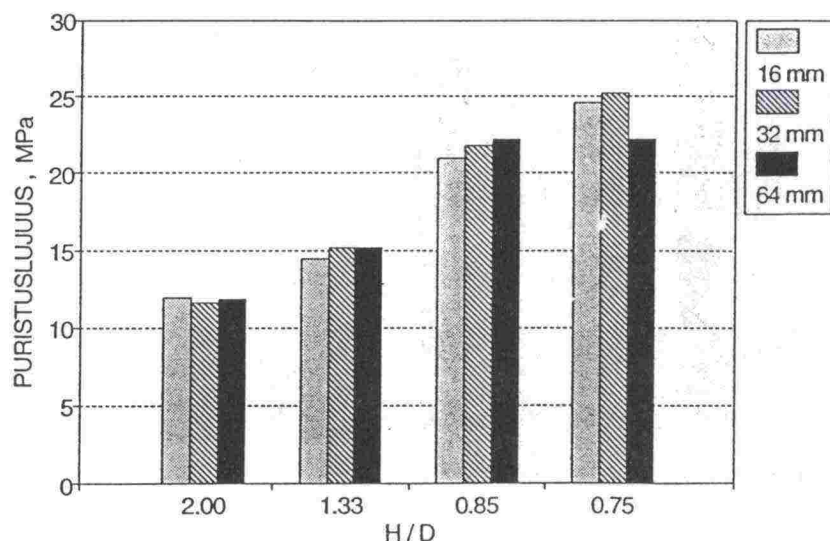
## 4.2 Puristuslujuus

Puristuslujuudet määritettiin 28 ja 91 vrk:n vanhoista näytteistä. Rinnakkaisnäytteitä oli 3 kappaletta. Tulokset on esitetty kuvissa 6 - 9 keskiarvoina ja yksittäisarvot liitteessä 3. Puristuslujuuksia ei ole korjattu käyrästöstä saatavalla korjauskertoimella. Kuvista käy ilmi selvästi h/d -suhteen ja sideainepitoisuuden vaikutus lujuuksiin kuten myös lujittumisiän vaikutus.

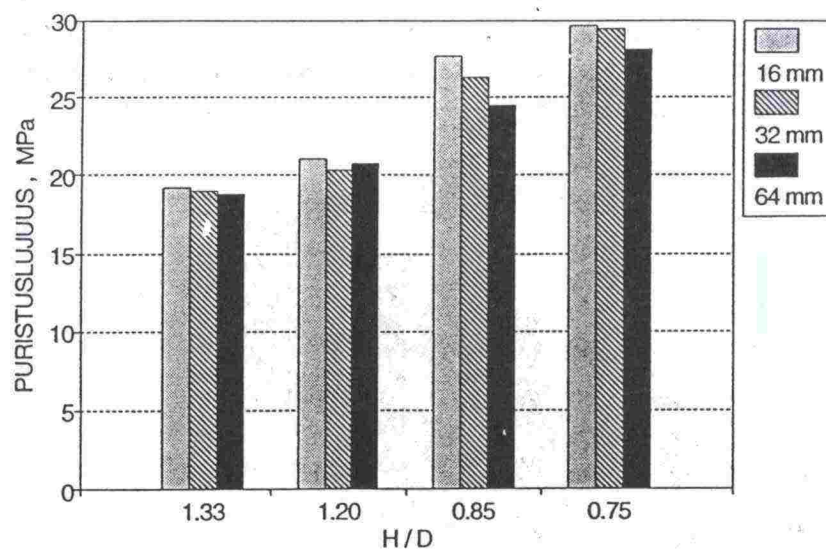


Kuva 6. Maksimiraekoon ja koekappaleen h/d -suhteen vaikutus puristuslujuuteen 28 vrk:n vanhoilla halkaisijaltaan 150 mm:n näytteillä ja 2 % sideainepitoisuudella.

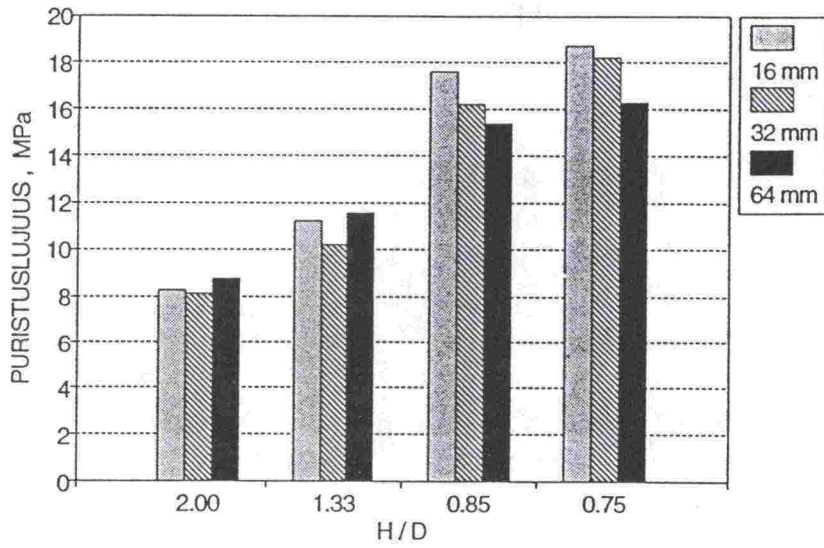




Kuva 7. Maksimiraekoon ja koekappaleen h/d -suhteen vaikutus puristuslujuuteen 28 vrk:n vanhoilla halkaisijaltaan 100 mm:n näytteillä ja 4 % sideainepitoisuudella.



Kuva 8. Maksimiraekoon ja koekappaleen h/d -suhteen vaikutus puristuslujuuteen 91 vrk:n vanhoilla halkaisijaltaan 150 mm:n näytteillä ja 4 %:n sideainepitoisuudella.



Kuva 9. Maksimiraekoon ja koekappaleen  $h/d$  -suhteen vaikutus puristuslujuuteen 91 vrk:n vanhoilla halkaisijaltaan 100 mm:n näytteillä ja 2 % sideainepitoisuudella.

## 5 TULOSTEN TARKASTELU

### 5.1 Koekappaleet

Koekappaleiden halkaisijana on 100 mm:n porakoolle käytetty laskuissa arvoa 100 mm ja 150 mm:n porakoolle arvoa 150 mm. Toteutuneet arvot olivat erittäin lähellä käytettyjä arvoja. Poikkeamaa saattoi lähinnä aiheuttaa poranterän kuluneisuus sekä porauksessa irronneen kiven aiheuttama kuluma. Poranterät uusittiin kokeen puolivälissä. Koekappaleiden sahauksessa oletusarvoista todetut korkeuden poikkeamat olivat  $\pm 2$  mm. Poikkeamia on pidettävä vähäisinä kuten myös niiden vaikutuksia lujuusarvoihin ottaen huomioon muut hajontaan vaikuttavat tekijät. Tutkimuksessa on käytetty koekappaleiden h/d -arvoina suunnitelman mukaisia oletusarvoja.

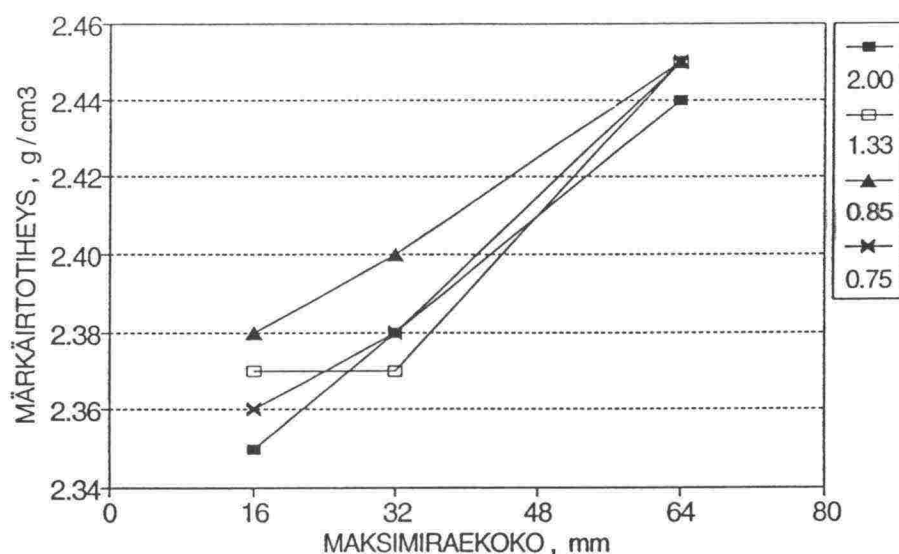
Massojen valun onnistumista sekä maksimiraekoon vaikutusta tiheyteen voidaan parhaiten tarkastella porakappaleiden tiheyksistä. Tarkastelussa on syytä muistaa, että saadut arvot ovat suuntaa antavia. Koekappaleiden kokoa mitattaessa on käytetty oletusarvon mukaista halkaisijaa ja punnituksessa ei ole otettu huomioon sahauksessa tapahtuneita pieniä lohkeamisia ja kivien irtoamisia. Myös erilaiset vesipitoisuudet aiheuttavat tarkasteluun epätarkkuutta. Tiheyksiä tarkastellaan pääasiassa märkäirtotiheyksinä.

Kuvissa 10 ja 11 on esitetty 91 vrk:n vanhojen koekappaleiden maksimiraekoon vaikutus märkäirtotiheyteen eri h/d -suhteilla kolmen rinnakkaisnäytteen keskiarvoina. Kuvassa 5 on esitetty ko. massojen keskimääräiset tiheydet. Kuten kuvista nähdään lisää maksimiraekoon eli kivisyyden kasvu luonnollisesti tiheysarvoja. Maksimiraekooltaan 16 mm:n massalla ja 2 % sideainepitoisuudella koekappaleiden märkäirtotiheydet olivat h/d -suhteen keskiarvona olivat välillä 2,35 - 2,38 g/cm<sup>3</sup> keskiarvon ollessa 2,37 g/cm<sup>3</sup>. Vastaavat arvot 32 mm:n ja 64 mm:n maksimiraekoon omaaville massoille olivat 2,37 - 2,40 g/cm<sup>3</sup> ja 2,38 g/cm<sup>3</sup> sekä 2,44 - 2,45 g/cm<sup>3</sup> ja 2,45 g/cm<sup>3</sup>. Sideainepitoisuuden ollessa 4 % maksimiraekooltaan 16 mm:n massalla kyseiset arvot olivat 2,34 - 2,36 g/cm<sup>3</sup> ja 2,35 g/cm<sup>3</sup>. Vastaavat arvot 32 mm:n ja 64 mm:n maksimiraekoon massoille olivat 2,37 - 2,39 g/cm<sup>3</sup> ja 2,38 g/cm<sup>3</sup> sekä 2,41 - 2,43 g/cm<sup>3</sup> ja 2,42 g/cm<sup>3</sup>.

Kuvassa 11 maksimiraekooltaan 64 mm:n massan tiheysarvot ovat alhaisemmat kuin maksimiraekooltaan vastaavan, mutta sideainepitoisuudeltaan 2 % massan. Syinä voivat olla tiivistyksen vähyys ja lajittuminen valaessa, mikä on lähinnä suurten kivien erottumista massasta. Lajittumista voi tapahtua pudottaessa sekoitettu massa kuljetinalustalle ja lapioitaessa sitä muotteihin. Jälkimmäinen lajittuminen on luonteeltaan inhimillistä ja lähes huomaamattomasti tapahtuvaa, jos siihen ei koko ajan kiinnitä huomiota. Ehdottomasti

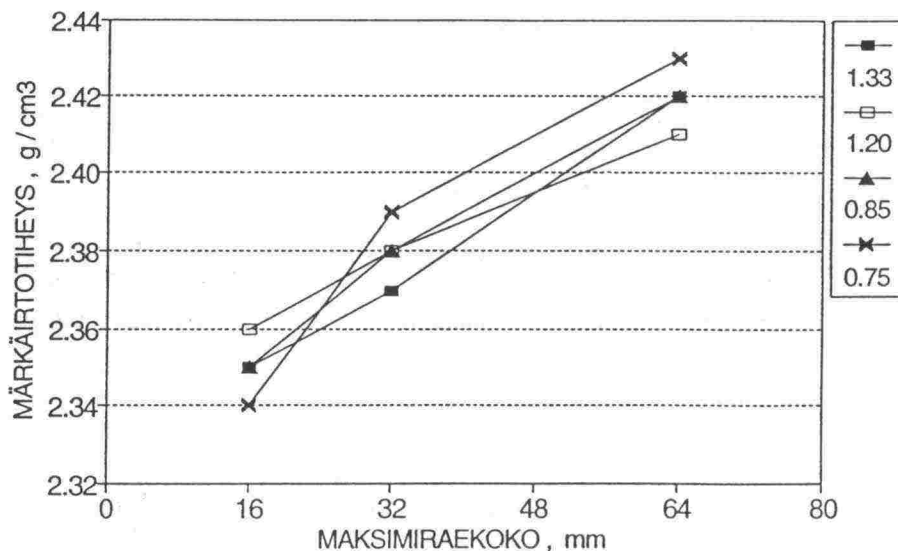
parempi tapa valaa karkeita massoja, olisi tehdä koe täysimittakaavaisena valamalla suuriin laattoihin ja tiivistää raskaalla kalustolla.

Kuvissa on havaittavissa jonkin verran myös kahdessa kerroksessa tehdyn tiivistämisen vaikutus. Käytetyllä kalustolla ei ylempää kerrosta ilmeisesti aina pystytty tiivistämään samaan tiiviYTEEN kuin alempaa kerrosta alustamuutosten vuoksi. Hienoimmilla massoilla myös ylitivistämisen tästä syystä oli mahdollista. Ilmeisesti näistä syistä johtuen maksimiraekooltaan 16 mm:n korkeimpien koekappaleiden tiheydet jäivät matalampien koekappaleiden tiheyksiä alhaisimmiksi (kuva 10).



Kuva 10. Maksimiraekoon vaikutus koekappaleiden märkäirtotiheyteen. Massan sideainepitoisuus on 2 % ja porakoko 100 mm.

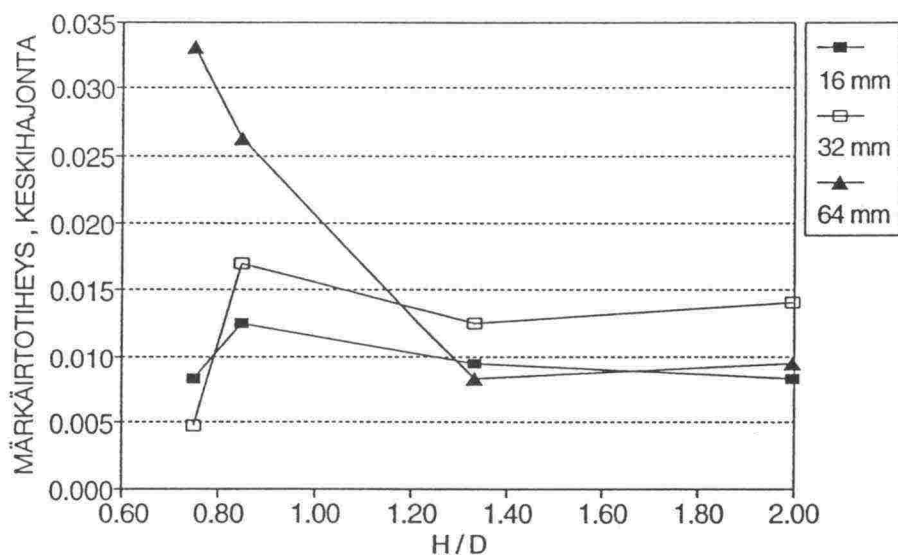




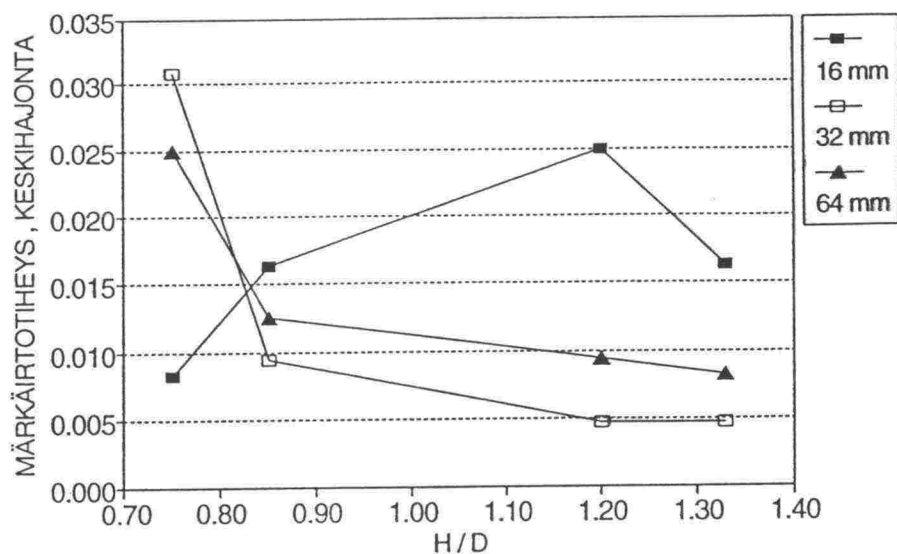
Kuva 11. Maksimiraekoon vaikutus koekappaleiden märkäirtotiheyteen. Massan sideainepitoisuus on 4 % ja porakoko 150 mm.

Kuvissa 12 ja 13 on esitetty massojen rinnakkaisnäytteiden (3 kpl) keskihajonnat eri h/d -suhteilla. Tuloksiin tulee suhtautua kriittisesti näytemäärän vähyden takia. Kuvan 12 tuloksista voi havaita käytetyn porakoon (100 mm) olevan sopimaton 64 mm:n maksimiraekoon omaaville näytteille. Tällöin suurten kivien satunnainen sijainti ja määrä vaikuttavat suuresti lopputulokseen. Massoja voidaan muutoin pitää tasalaatuisina. Kuvan 13 tulosten 16 mm:n maksimiraekoon massa on muita kuvan massoja hieman epähomogeenisempi. Ilmeisesti massa on muita herkempi tiivistystyön määrään nähden kaksikerrosrakenteena. Tässäkin tapauksessa karkeammilla massoilla hajonta oli suurinta pienimmällä h/d -suhteella. Tulosten perusteella koekappaleen h/d -suhteen ei tulisi olla alle yhden ainakaan karkeita massoja käytettäessä.





Kuva 12. Mäkäirtotiheyden hajonnan riippuvuus koekappaleen h/d -suhteesta. Massan sideainepitoisuus oli 2 % ja porakoko 100 mm.

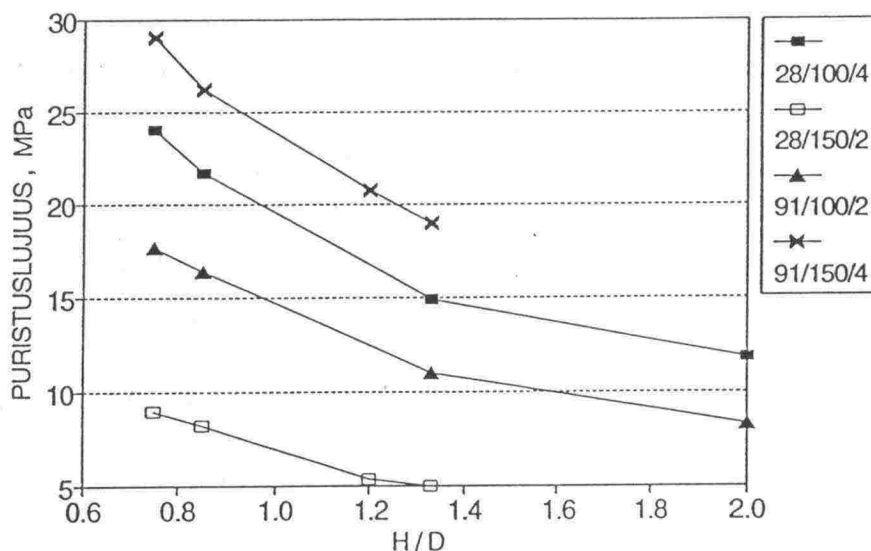


Kuva 13. Mäkäirtotiheyden hajonnan riippuvuus koekappaleen h/d -suhteesta. Massan sideainepitoisuus oli 4 % ja porakoko 150 mm.

## 5.2 Puristuslujuus

### 5.2.1 Koekappaleen korkeus/halkaisija-suhde

Koekappaleen muodon eli korkeuden ja halkaisijan suhteen vaikutus puristuslujuuteen on esitetty kuvissa 6 - 9 ja 14 sekä liitteissä 4 - 7. Kuvissa 6 - 9 tulokset on esitetty pylväsdiagrammeina, jokainen h/d -suhde ja massa erikseen puristusvuorokausien mukaan. Liitteissä 4 - 7 nämä tiedot on ryhmitelty massojen maksimiraekokojen mukaan. Kuvassa 14 liitteiden 4 - 7 tiedot on yhdistelty siten, että yhdessä liitteessä olevat maksimiraekoon mukaiset käyrät on yhdistetty yhdeksi keskimääräiseksi käyräksi. Jaottelupeusteena tässä tapauksessa ovat suunnitelman mukaan koestusikä, porakoko ja sideainepitoisuus.



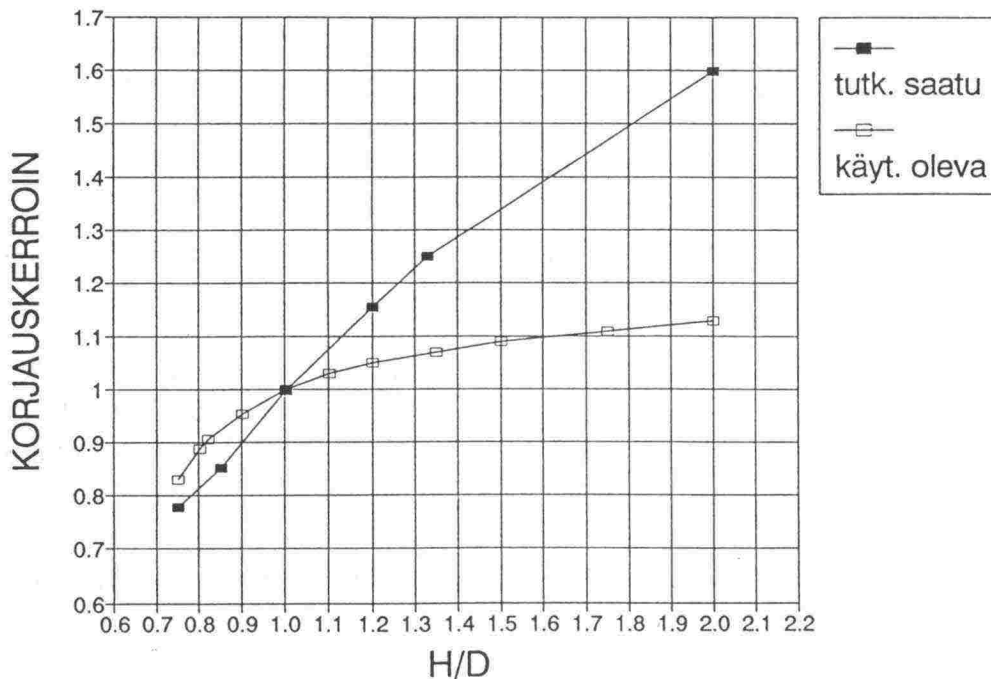
Kuva 14. Puristuslujuuden riippuvuus koekappaleen korkeuden ja halkaisijan suhteesta (h/d). Selityksessä 28/100/4 28 on koestusikä vrk, 100 koekappaleen halkaisija mm ja 4 sideainepitoisuus %.

Kuten näistäkin kuvista voi hyvin todeta, on h/d -suhteella tunnetusti oleellinen vaikutus puristuslujuuteen. Kuvan 14 tulosten mukaan suhteen vaikutus oli massoilla hyvin samanlainen eli mitä pienempi h/d -suhde sitä suurempi puristuslujuus. Suhteen vaikutus ei ollut aivan lineaarinen, vaan se kasvoi jyrkemmin pienillä suhdearvoilla sitä enemmän mitä suurempi puristuslujuus oli. Lujuuden vaikutus oli suhteellisesti lähes saman suuruinen, sillä h/d -suhteilla 0,75 ja 0,85 saatujen puristuslujuuksien suhde kahdella lujimmalla käyrällä oli molemmilla 1.11 ja kahdella heikoimmalla käyrällä 1,09 ja 1,08.

Liitteessä 8 on esitetty h/d -suhteiden vaikutus puristuslujuuksiin puristusarvojen suhteina. Arvot ovat kolmen rinnakkaisnäytteen keskiarvoja. Verrattaessa eri suhteilla saatuja lujuuksia pienimpään h/d -suhteeseen (0,75) saatiin koko aineiston keskiarvona ko. suhteella 2,09-kertaisia arvoja verrattaessa suhteella 2,00 saatuihin arvoihin. Verrattaessa vastaavasti suhteilla 1,33, 1,20 ja 0,85 saatuja lujuuksia suhteella 0,75 saatuihin arvoihin saatiin suhdeluvuiksi 1,65, 1,53 ja 1,10. Lisäksi vastaaviksi suhdeluvuiksi suhteilla 1,33/2,00 ja 1,20/1,33 saatiin 1,29 ja 1,09.

Koekappaleen h/d -suhteen ollessa merkitsevä puristusarvoja tulkittaessa on lujuustulokset saatava yhteismitallisiksi korjauskertoimien avulla. Tällä hetkellä on käytössä liitteen 2 /4/ mukainen korjauskäyrä. Tutkimuksen aineistolla saatavaa korjauskäyrää varten tietokoneella ajettiin muuntokäyrät eri massoille (liitteet 9-10) ja niiden avulla keskimääräinen korjauskäyrä. Lisäksi osasta 91 vrk:n massoista porattiin lisänäytteitä, jotka puristettiin h/d -suhteella 1,00. Niiden tulokset ovat liitteessä 11. Saatu muuntokäyrä on esitetty liitteessä 12.

Korjauskäyrältä saadaan h/d -suhteiden 2,00, 1,33, 1,20, 0,85 ja 0,75 korjauskertoimiksi 1,60, 1,25, 1,16, 0,85 ja 0,78. Liitteen 2 käyrältä saatavat vastaavat korjauskertoimet ovat 1,13, 1,07, 1,05, 0,92 ja 0,83. Arvot poikkeavat toisistaan huomattavasti. Kokeen tulosten mukaan h/d -suhteiden vaikutus olisi suurempi kuin käytössä oleva käyrä antaisi olettaa. Liitteessä 13 on esitetty eri h/d -suhteilla saadut puristuslujuudet rinnakkaisnäytteiden keskiarvoina sekä tutkimuksessa saaduilla kertoimilla että liitteen 2 käyrältä saaduilla kertoimilla korjattuina. Kuvassa 15 on esitetty tutkimuksessa saatu korjauskäyrä ja käytössä oleva korjauskäyrä.

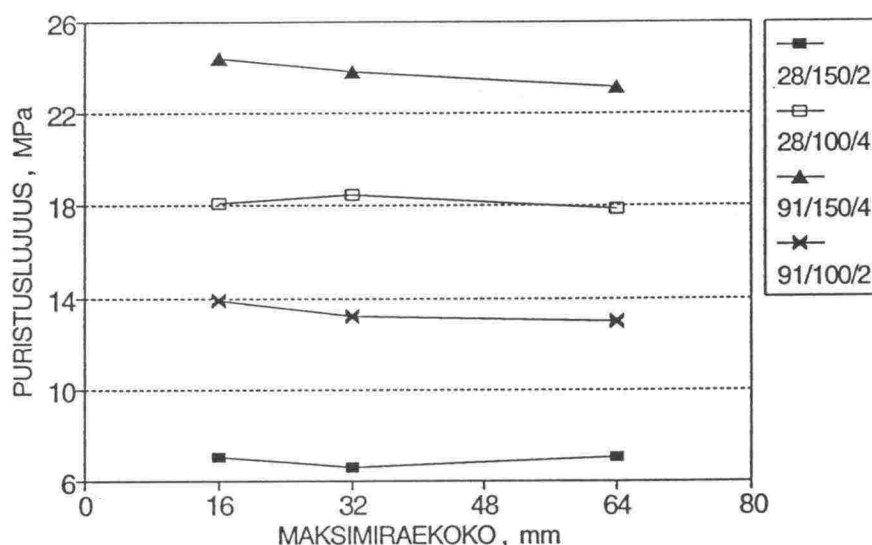


Kuva 15. Tutkimuksessa saatu ja käytössä oleva korjauskäyrä eri  $h/d$  -suhteiden lujuuksille.

### 5.2.2 Maksimiraeko

Kuvassa 16 ja liitteissä 14 - 17 on esitetty maksimiraekoon vaikutus puristuslujuuteen. Myös kuvista 6 - 9 käy ilmi maksimiraekoon vaikutus. Kuvan 16 pisteet ovat massan eri  $h/d$  -suhteilla saatujen lujuuksien keskiarvot. Liitteissä 14 - 17 eri  $h/d$  -suhteet ovat eriteltyinä. Kuten kuvasta voi havaita ei maksimiraekolla koko aineistossa ole juurikaan vaikutusta puristuslujuuteen. Liitteiden 14 - 17 tulosten mukaan raekoon vaikutus vaihtelee  $h/d$  -suhteiden ja koestusiän mukaan. Tuloksia tarkasteltaessa on syytä muistaa, että vaikka maksimiraekoko vaihtelee, pysyy hienoaineksen määrä ja rakeisuuskäyrän alaosan muoto samana. Toisenlainen rakeisuuskäyrä saattaisi antaa erilaisen tuloksen.





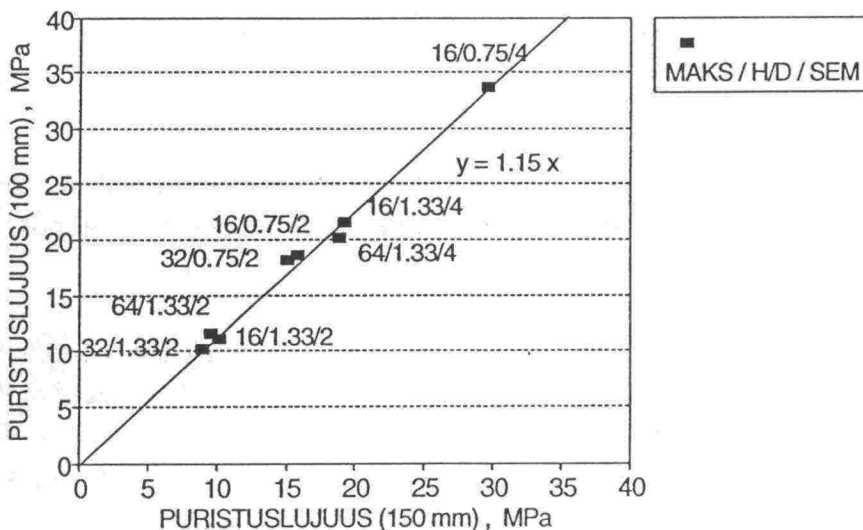
Kuva 16. Maksimiraekoon vaikutus puristuslujuuteen eri massoilla. Kuvan selityksissä 28/150/2 tarkoittaa 28 koestusikää (vrk), 150 porakokoa (mm) ja 2 sideainepitoisuutta (%).

Verrattaessa koko aineiston maksimiraekooltaan 16 mm:n tuloksia 64 mm:n lujuustuloksiin olivat suurimmalla maksimiraekoolla lujuudet keskimäärin 3,2 % pienemmät kuin 16 mm:n maksimiraekoolla saadut tulokset. Vaihteluväli oli 0,0 - 6,5 %. Maksimiraekoon vaikutus eri massojen h/d -suhteilla oli vaihteleva. Tuloksia voi käsitellä eri suhteiden mukaan tai koestusiän tulosten mukaan. Selkein vaikutus on nähtävissä 91 vrk:n tuloksissa (liitteet 16 ja 17) sekä 100 ja 150 mm:n näytekoolla että 2 ja 4 %:n sideainepitoisuudella. Puristuslujuudet pienenevät h/d -suhteilla 0,85 ja 0,75 maksimiraekoon kasvaessa. Vastaavasti h/d -suhteilla 2,00, 1,33 ja 1,20 lujuuden muutokset olivat vähäisiä ja niillä ei ollut selvää suuntausta. Lujuuden pieneneminen h/d -suhteilla 0,75 ja 0,85 oli keskimäärin 10,5 % vaihteluvälin ollessa 5,1-12,8 %. Kahdella suurimmalla h/d -suhteella 100 mm:n porakoolla lujuus kasvoi verrattaessa pienimmällä ja suurimmalla raekoolla saatuja arvoja keskimäärin 4,9 %. Vastaavasti 150 mm:n porakoolla arvot suurensivat keskiarvona 1,8 %.

Koestusiän ollessa 28 vrk suurimmilla h/d -suhteilla lujuudet myöskin kasvoivat raekoon kasvaessa (liitteet 14 ja 15). Kasvu oli suurempaa toisin kuin 91 vrk:n näytteillä 150 mm:n näytekoolla. Lujuudet kasvoivat keskimäärin 18,8 % ja 100 mm:n näytekoolla 1,2 %. Pienimmillä h/d -suhteilla raekoon vaikutus oli vaihteleva, eikä mitään selvää linjaa ole havaittavissa.

### 5.2.3 Näytteen halkaisija

Koesuunnittelumatriisia laadittaessa oletettiin porakokojen 100 mm ja 150 mm antavan samanlaisen lujuustuloksen. Kokeen kestäessä otettiin ylimääräisesti 91 vrk:n massoista rinnakkaisnäytteitä siten, että molemmat porakoot olivat edustettuina samasta massasta yhdellä tai kahdella h/d -suhteella (1,33 ja/-0,75). Tulokset ja kyseiset h/d -suhteet selviävät liitteestä 18. Kuvassa 17 on esitetty 100 mm:n ja 150 mm:n porakoolla saadut puristuslujuudet ja niiden suhteet. Kuvapisteen kohdalle on merkitty näytteen maksimiraekoko (mm), h/d -suhde ja sideainepitoisuus (%).



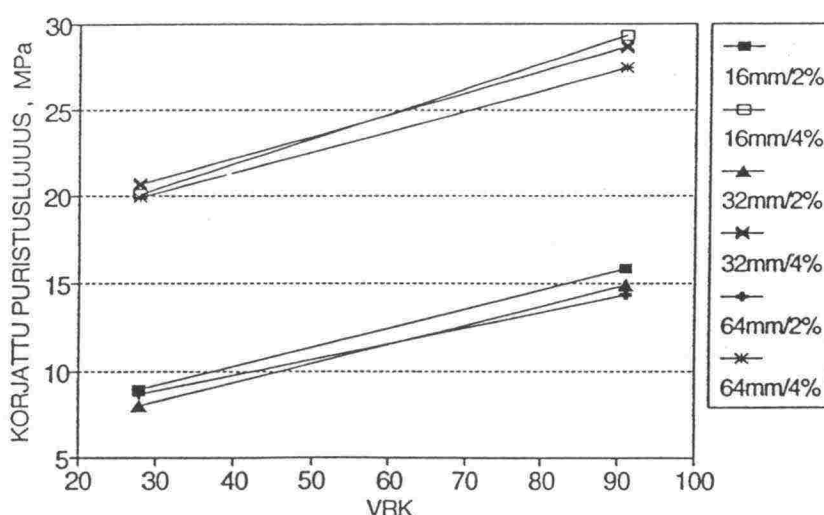
Kuva 17. Näytteen porakoon vaikutus puristuslujuuteen.

Tulosten mukaan halkaisijaltaan 100 mm:n koekappaleella saatiin aina suurempi puristuslujuus kuin vastaavalla 150 mm:n koekappaleella. Keskimääräinen lujuusero oli 1,15-kertainen vaihteluvälin ollessa 1,07-1,22. Laskettaessa suhteiden minimi- ja maksimiarvon keskiarvo saadaan kertomaksi myös 1,15. Toisin sanottuna 100 mm:n pora- tai muottikoolla saadaan 15 % suurempia lujuusarvoja kuin 150 mm:n koolla tämän aineiston perusteella.

### 5.2.4 Lujuuskehitys

Lujuuskehitys on luonnollisesti riippuvainen sideaineen määrästä ja lujuuskehityksen ajanjaksosta eli tarkastelussa koestusiästä. Lujuuskehitystä voidaan siten tarkastella sideainemäärän ja iän funktiona. Suunnittelumatriisiin laadintatavasta johtuen eri tekijöitä ei voitu suoraan verrata toisiinsa, koska sideainepitoisuuden tai iän muuttuessa muuttui myös porakoko. Siksi 150 mm:n

porakoon lujuustulokset on kerrottu edellä saadulla kertoimella 1,15. Liitteissä 19 ja 20 ovat kertoimella korjatut arvot. Vertailtaessa eri porakoon tuloksia toisiinsa voidaan vertailuun ottaa vain saman h/d -suhteen omaavia kappaleita. Yhteisiä h/d -suhteita olivat 1,33, 0,85 ja 0,75. Liitteeseen 20 on kerätty vain näiden suhteiden tulokset vertailun helpottamiseksi. Kuvassa 18 on esitetty puristuslujuus koestusiän funktiona. Tulokset ovat massojen ko. h/d -suhteilla saatujen lujuuksien keskiarvoja. Liitteissä 21-23 on esitetty lujuuden kehitys eri h/d -suhteilla.



Kuva 18. Lujuuden kehitys iän suhteen massatyypeittäin h/d -suhteiden keskiarvona.

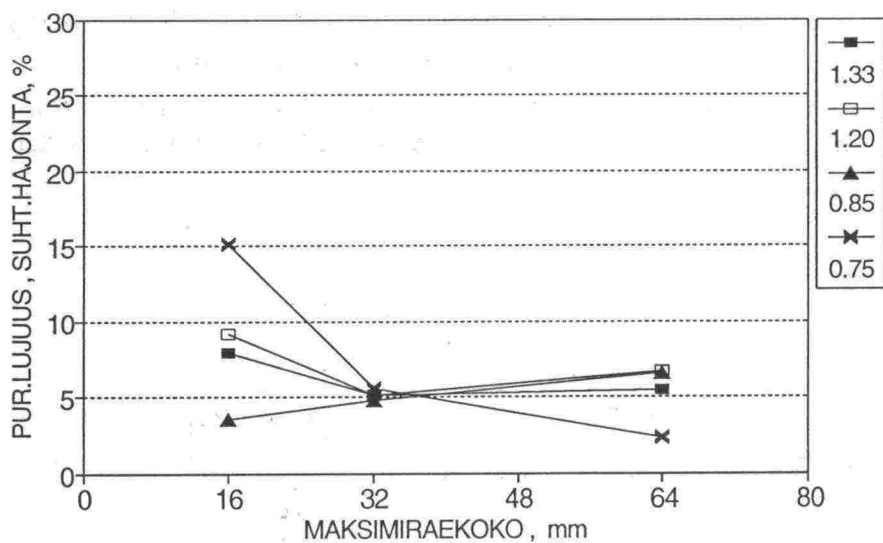
Kuten kuvasta voi todeta on lujuuskehitys ollut kaikilla maksimiraekoolla ja sideainepitoisuuksilla hyvin samankaltainen. Myöskään liitteiden 21 - 23 tuloksissa ei ole yleissuuntauksesta poikkeavaa. Oleelliset virheet massojen valussa ja tiivistämisessä sekä jälkihoidossa olisivat havaittavissa poikkeamina lujuuskehityksessä. Kunkin maksimiraekoon massalla lujuuskehityksessä lujittuminen 28 vrk:n arvosta 91 vrk:n arvoon oli suhteessa suurempaa 2 %:n sideainepitoisuudella kuin 4 %:n pitoisuudella suhdelukujen ollessa massojen keskiarvona 1,80 ja 1,41. Sideainemäärän kasvaessa 2 %:sta 4 %:iin oli lujuuden nousu kaikilla maksimiraekokokomassoilla 28 vrk:n vanhoina suhteellisesti suurempi kuin 91 vrk:n vanhoina. Arvot olivat massojen keskiarvoina 2,45 ja 1,90.

### 5.2.5 Lujuuden hajonta

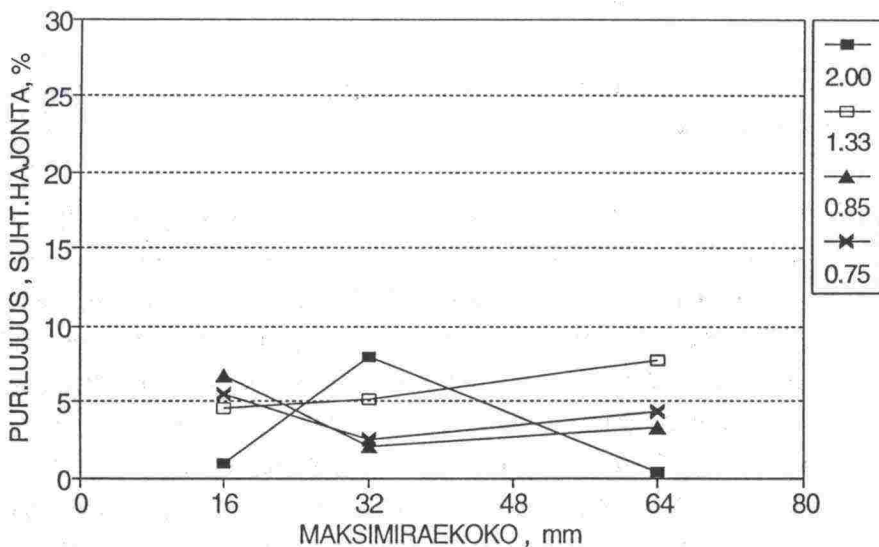
Kolmesta rinnakkaisnäytteestä on laskettu keskihajonta sekä keskihajonnan ja keskiarvon avulla suhteellinen keskihajonta. Yksittäiset arvot on esitetty liitteessä 24. Kuvissa 19 - 22 on esitetty suhteellinen keskihajonta maksimira-



ekoon suhteen. Liitteissä 25 - 28 on esitetty vastaavasti suhteellinen hajonta h/d -suhteen funktiona.

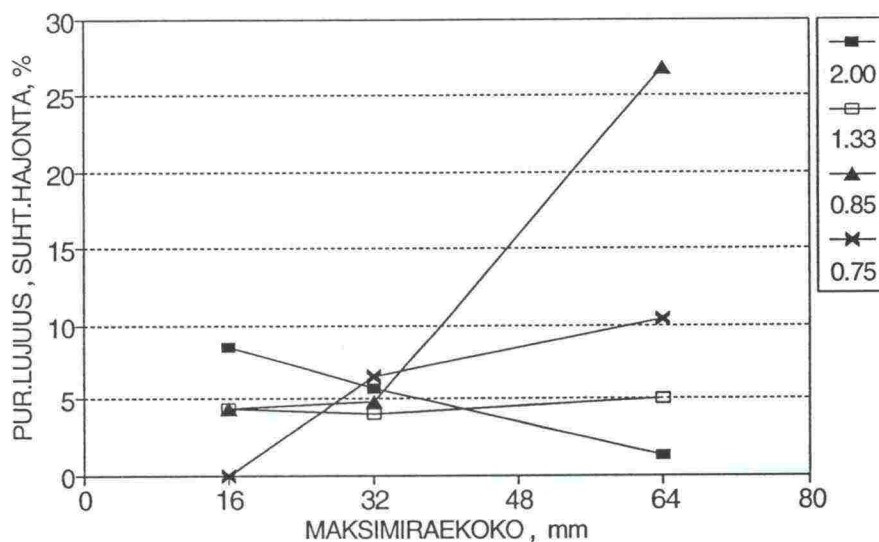


Kuva 19. Puristuslujuuden suhteellinen hajonta maksimiraekoon suhteen. Puristusikä on 28 vrk, porakoko 150 mm ja sideainepitoisuus 2 %.

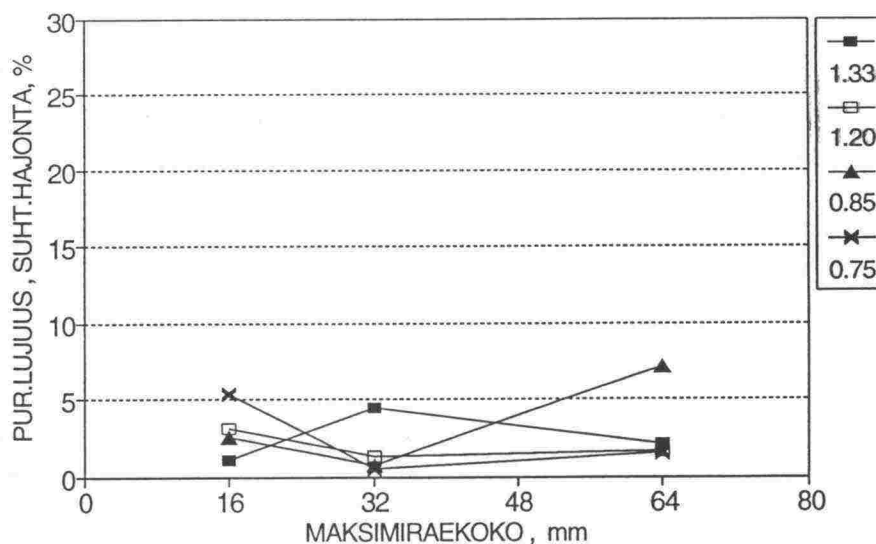


Kuva 20. Puristuslujuuden suhteellinen hajonta maksimiraekoon suhteen. Puristusikä on 28 vrk, porakoko 100 mm ja sideainepitoisuus 4 %.





Kuva 21. Puristuslujuuden suhteellinen hajonta maksimiraekoon suhteen. Puristusikä on 91 vrk, porakoko 100 mm ja sideainepitoisuus 2 %.



Kuva 22. Puristuslujuuden suhteellinen hajonta maksimiraekoon suhteen. Puristusikä on 91 vrk, porakoko 150 mm ja sideainepitoisuus 4 %.

Tulosten mukaan niillä massoilla, joilla sideainepitoisuus oli 4 %, suhteelliset hajonnat eri h/d -suhteilla olivat alhaisia ja samankaltaisia raekoosta riippumatta. Suhteelliset hajonnat olivat enintään 8 % (kuvat 20 ja 22). Sen sijaan massoilla, joilla sideainepitoisuus oli 2 %, suhteelliset hajonnat olivat huomattavasti suuremmat (kuvat 19 ja 21). Hajonnat olivat välillä 1,4-26,8 %. Suuret

hajonnat maksimiraekooltaan 64 mm:n massalla 91 vrk:n näytteillä johtuvat suurimmaksi osaksi pienestä porakoosta (100 mm). Vastaavaa hajontaa ei ollut 4 %:n massalla. Kuitenkin on ilmeistä, että näytteen pieni halkaisija ja suuri raekoko voivat aiheuttavat suurta hajontaa riippuen isojen kivien sattumisesta näytteeseen ja niiden asennosta toistensa suhteen. Tämä on aivan sattumanvaraista. Samanlainen tulos saatiin edellä tarkasteltaessa märkäirtotiheyksiä. Vaikutus korostui näytteiden h/d -suhteiden pienetessä. Märkäirtotiheys- ja lujuushajontojen perusteella koekappaleen alle yhden h/d -suhteita ei suositella käytettäväksi ainakaan karkeimmilla massoilla. Tuloksia tarkasteltaessa on syytä muistaa, että rinnakkaisnäytteiden määrä on vain kolme kappaletta, jolloin sattumalla on sanansa sanottavana.

Suurehko hajonta maksimiraekooltaan 16 mm:n massalla ei johtune porakoosta eikä näytteen h/d -suhteesta, vaan massan tiivistyksessä tapahtuneesta mahdollisesta ylitiivistyksestä tai tiivistyskerrosten erilaisuudesta. Tätä tukevat havaitut erot märkäirtotiheyksissä sekä keskihajonnassa. Suhteelliset hajonnat olivat ko. massalla välillä 0,0-15,1 %.

### 5.2.6 Mallintaminen

Tietokoneohjelmalla valittiin merkitsevät muuttujat aineistosta. Tulostus on esitetty liitteessä 29. Puristuslujuuden selittäjinä mallissa tulevat kyseeseen lujittumisvuorokaudet, muottikoko, korkeuden ja halkaisijan suhde sekä sideainepitoisuus. Sen sijaan maksimiraekoon kertoimen merkitsevyys on vähäinen (liite 28). Tällä mallilla selitetään puristuslujuutta sideainepitoisuudella, h/d -suhteella (lineaarinen), lujittumisaikalla ja porakoolla. Selitysasteeksi tuli  $r^2=0,96$ .

$$\text{Puristuslujuus} = 9,7 + 5,4 \times A - 9,2 \times B - 0,04 \times C + 0,09 \times D,$$

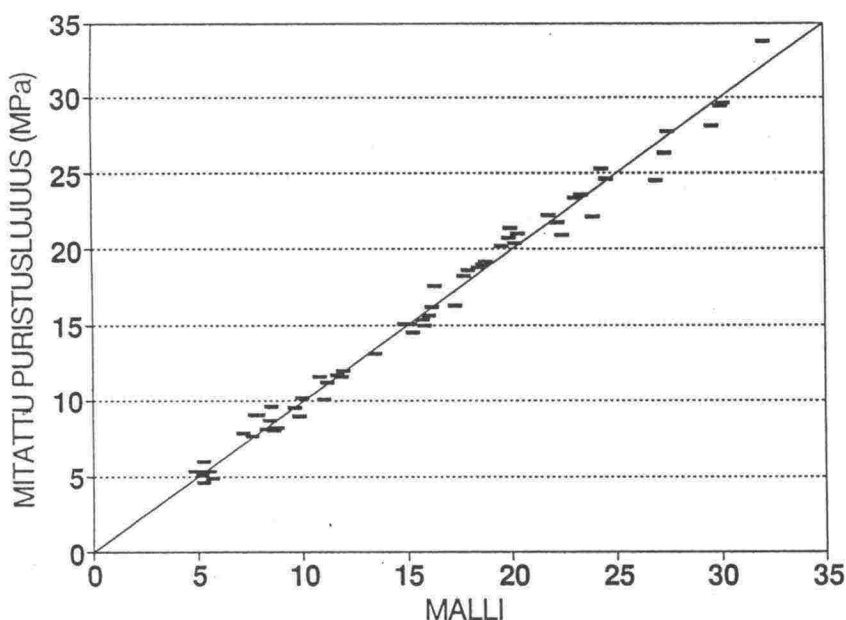
jossa A on sideainepitoisuus %, B h/d -suhde, C näytteen halkaisija mm, D lujittumisaika vrk.

Mallintaminen voidaan tehdä myös saadulta h/d -korjauskäyrältä saaduilla kertoimilla muunnettujen puristuslujuuksien avulla. Tätä korjattua puristuslujuutta selitettiin neljällä muuttujalla lineaarisella regressioanalyysillä. Kun korjattua puristuslujuutta selittävän mallin arvo jaetaan h/d -korjauskertoimella, saadaan malli, joka selittää alkuperäistä puristuslujuutta sideainepitoisuuden, näytteen halkaisijan, lujittumisaikan sekä maksimiraekoon avulla. Selitysaste  $r^2$  on 0,99.

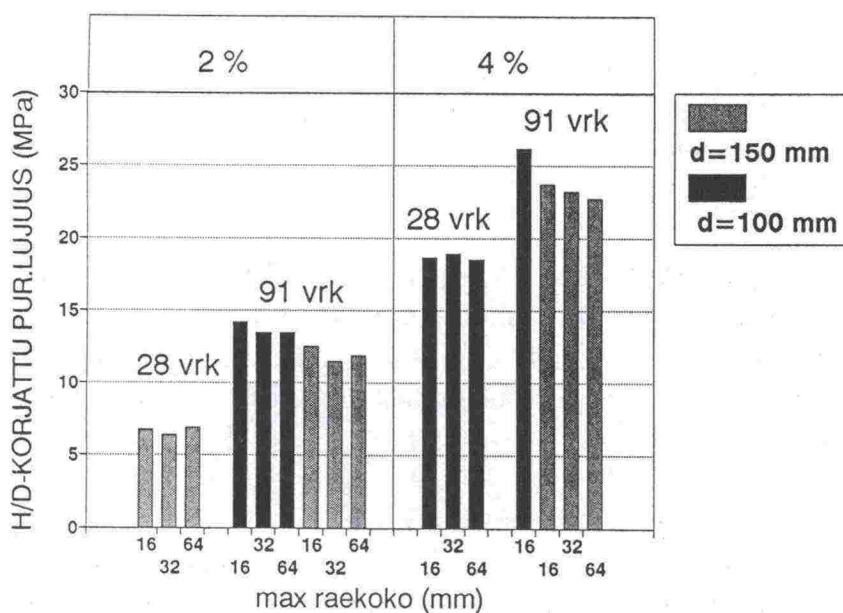
$$\text{Puristuslujuus} = ( 0,09 \times A - 0,03 \times B + 5,51 \times C - 0,01 \times D + 2,78 ) / \text{h/d-korjauskerroin},$$

jossa A on lujittumisaika vrk, B näytteen halkaisija mm, C sideainepitoisuus % ja D maksimiraekoko mm.

Kuvassa 23 on esitetty puristuslujuuden ja mallin välinen riippuvuus. Lisäksi kuvassa 24 on esitetty muiden kuin h/d -suhteen vaikutus. H/d -korjattua puristuslujuutta selitetään graafisesti muilla mallin selittäjillä niiden vaikutusten havaitsemisen selventämiseksi.



Kuva 23. Mallin ja puristuslujuuden välinen riippuvuus.



Kuva 24. Sideainepitoisuuden, maksimiraekoon, koestusiän ja porakoon vaikutus h/d -korjattuun puristuslujuuteen.



## 6 YHTEENVETO

Stabiloinnin onnistuminen edellyttää huolellisia ennakkokokeita ja laadunvalvontaa. Oleellinen osa tätä prosessia on koekappaleiden valmistus ja koestus. Tulosten luotettavuuden varmistamiseksi tulee koekappaleen eri ominaisuudet ja niiden vaikutukset olla tiedossa. Tuloksiin vaikuttavat oleellisesti myös itse stabilointityössä tapahtuvat virheet. Suurimmat virhelähteet ovat massan lajittuminen ja virheet tiivistyksessä.

Kokeita varten suhteitettiin kolme maksimiraekooltaan erilaista rakeisuus-käyrää mutta hienoainesmäärältään samanlaisia. Muuttujina maksimiraekoon lisäksi olivat sideainepitoisuus, lujittumisvuorokaudet, näyte koko ja näytteen korkeuden ja halkaisijan suhde. Valetuista laatoista porattujen näytteiden puristuslujuustuloksista voidaan vetää seuraavia johtopäätöksiä:

1. Puristuslujuuteen näytteen korkeus/halkaisija-suhteella oli näissäkin tapauksissa oleellinen vaikutus. Mitä pienempi suhde oli, sitä suurempia lujuusarvoja saatiin. Pienin suhde (0,75) antoi yli kaksinkertaisia arvoja suurimpaan suhteeseen (2.00) verrattuna.
2. Näytteen korkeus/halkaisija-suhteen vaikutuksen eliminoimiseksi puristuslujuuteen tutkimuksessa laadittu korjauskäyrä poikkesi huomattavasti käytössä olevasta korjauskäyrästä. H/d -suhteen vaikutus puristuslujuuteen on tämän tutkimuksen mukaan huomattavasti suurempi kuin käytössä oleva korjauskäyrä antaisi olettaa.
3. Maksimiraekoolla oli vain vähäinen vaikutus puristuslujuuteen. Merkitys tosin hieman vaihteli koekappaleen koon mukaan. Maksimiraekoon kasvu pienensi lujuuksia pienimmillä h/d -suhteilla enimmillään 10 %.
4. Näytteen halkaisijalla oli vaikutusta puristuslujuuksiin. Halkaisijaltaan pienempi, perinteinen (100 mm) näyte antoi keskimäärin 15 % suurempia lujuusarvoja kuin halkaisijaltaan suurempi (150 mm) näyte. Muilla muuttujilla ei ollut vaikutusta tähän suhteeseen.
5. Näytteiden lujuus oli luonnollisesti riippuvainen lujittumisajasta ja sideainepitoisuudesta. Lujuuskehitys oli eri massoilla ja näytteillä samankaltainen riippumatta maksimiraekoosta ja h/d -suhteesta.

6. Lujuustulosten hajontaan vaikuttivat maksimiraekoko ja sideainepitoisuus sekä porakoko siten, että pienellä sideainemäärällä hajonnat olivat suurempia kuin kaksinkertaisella sideainemäärällä sekä suurimmalla raekoolla hajonnat olivat muita raekokoja suurimmat. Suurimman raekoon vaikutus hajontaan korostui pienemmässä näytekoossa. Näytteen halkaisijan tulisikin olla yli kaksi kertaa maksimiraekoon. Lisäksi koekappaleita, joiden  $h/d$  -suhde on alle yhden, ei suositella käytettäväksi ainakaan karkeilla massoilla.
7. Regressioanalyysimallissa puristuslujuuden selittäjinä tulivat kyseeseen  $h/d$  -suhde, sideainepitoisuus, lujittumisaika ja muotitikoko. Sen sijaan maksimiraekoko ei tullut mukaan vähäisen merkityksensä takia.

## 7 KIRJALLISUUS

- /1/ Alkio, R. 1983. Moreenimurskeen stabilointikoe. Espoo. 28 s. (Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikennelaboratorio n:o 403)
- /2/ Alkio, R. 1986. Stabiloidun moreenin pakkasenkestävyys. Espoo. 22 s. (Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikennelaboratorio n:o 551)
- /3/ Alkio, R. 1992. Hienoaineksen vaikutus stabiloidun moreenimurskeen pakkaskestävyyteen. Helsinki. 28 s. (Tielaitoksen selvityksiä 62/1992). ISBN 951-47-6632-6, TIEL 3200112.
- /4/ Tielaitos, tiehallitus 1992. Sementtistabilointiohje. Helsinki. 45 s. ISBN 951-47-6848-5, TIEL 2222614.

## 8 LIITTEET

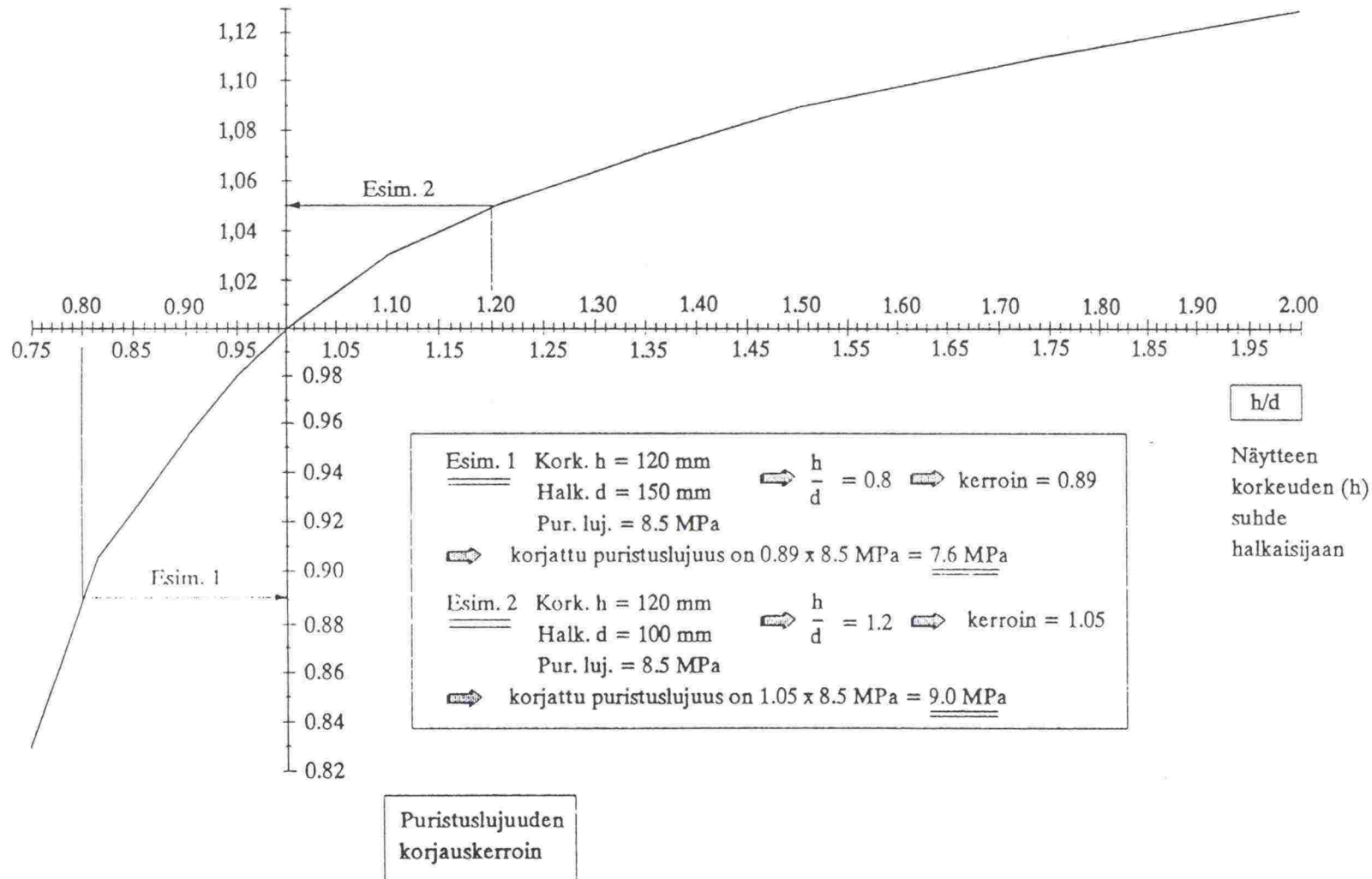
- 1 Ennakkokokeet
- 2 Puristuslujuuden korjauskerroin
- 3 Koekappaleiden tulokset
- 4 Korkeus/halkaisija -suhteen vaikutus puristuslujuuteen
- 5 Korkeus/halkaisija -suhteen vaikutus puristuslujuuteen
- 6 Korkeus/halkaisija -suhteen vaikutus puristuslujuuteen
- 7 Korkeus/halkaisija -suhteen vaikutus puristuslujuuteen
- 8 Puristuslujuuksien suhde eri h/d -suhteilla
- 9 Massojen h/d -suhteiden korjauskäyrät
- 10 Massojen h/d -suhteiden korjauskäyrät
- 11 Lisänäytteiden ( $h/d = 1/1$ ) puristuslujuudet
- 12 Puristuslujuuden korjauskerroin (tutk. saatu)
- 13 Korjauskertoimien vaikutus puristuslujuuteen
- 14 Maksimiraekoon vaikutus puristuslujuuteen
- 15 Maksimiraekoon vaikutus puristuslujuuteen
- 16 Maksimiraekoon vaikutus puristuslujuuteen
- 17 Maksimiraekoon vaikutus puristuslujuuteen
- 18 Näytekappaleen halkaisijan vaikutus puristuslujuuteen
- 19 Näytekappaleen halkaisijan ja h/d -suhteen vaikutus puristuslujuuteen
- 20 Korjatut puristuslujuudet
- 21 Lujuuden kehitys eri h/d -suhteilla
- 22 Lujuuden kehitys eri h/d -suhteilla
- 23 Lujuuden kehitys eri h/d -suhteilla
- 24 Puristuslujuuksien keskihajonnat ja suhteelliset hajonnat
- 25 Puristuslujuuden suhteellinen hajonta eri h/d -suhteilla
- 26 Puristuslujuuden suhteellinen hajonta eri h/d -suhteilla
- 27 Puristuslujuuden suhteellinen hajonta eri h/d -suhteilla
- 28 Puristuslujuuden suhteellinen hajonta eri h/d -suhteilla
- 29 Regressioanalyysi

## ENNAKKOKOKEET

Tunnus	Sideaine %	Kuivairtitiheys g/cm <sup>3</sup>	Puristuslujuus MN/m <sup>2</sup> Ka	Korjattu arvo
A <sub>1</sub>	2	2,290	6,0	
A <sub>2</sub>	2	2,289	5,9	6,2
A <sub>3</sub>	2	2,289	5,8	
B <sub>1</sub>	4	2,289	11,0	
B <sub>2</sub>	4	2,288	12,1	11,8
B <sub>3</sub>	4	2,290	10,5	
C <sub>1</sub>	6	2,300	20,8	
C <sub>2</sub>	6	2,291	18,3	20,2
C <sub>3</sub>	6	2,288	18,5	



5 Puristuslujuuden korjauskerroin



Tunnus	Max. raekoko, mm/sidepi- toisuus %	Muottikoko	h /d- suhde	Korkeus mm	Puristuslujuus MPa	Puristusikä vrk
A	16/2	6	1,33	202	5,1	28
				201	4,6	28
				202	4,2	28
B	16/2	6	1,20	178	5,5	28
				180	4,8	28
				180	4,4	28
C	16/2	6	0,85	129	8,7	28
				127	9,5	28
				126	9,1	28
D	16/2	6	0,75	114	11,7	28
				112	8,5	28
				115	8,7	28
E	16/4	4	2,00	202	12,0	28
				202	11,8	28
				200	12,1	28
F	16/4	4	1,33	132	13,6	28
				134	15,2	28
				134	14,7	28
G	16/4	4	0,85	85	21,4	28
				85	19,1	28
				85	22,5	28
H	16/4	4	0,75	75	26,5	28
				75	23,2	28
				77	24,3	28
I	32/2	6	1,33	200	5,4	28
				200	4,9	28
				201	4,8	28
J	32/2	6	1,20	181	5,0	28
				180	5,6	28
				180	5,6	28
K	32/2	6	0,85	128	7,3	28
				127	7,6	28
				130	8,2	28
L	32/2	6	0,75	113	8,6	28
				114	7,5	28
				113	8,2	28

Tunnus	Max. raekoko, mm/sidepi toisuus %	Muottikoko	h /d- suhde	Korkeus mm	Puristuslujuus MPa	Puristusikä vrk
M	32/4	4	2,00	200	12,9	28
				200	11,1	28
				201	10,8	28
N	32/4	4	1,33	135	15,3	28
				134	15,9	28
				132	14,0	28
O	32/4	4	0,85	85	21,4	28
				85	22,5	28
				85	22,4	28
P	32/4	4	0,75	76	25,2	28
				75	26,1	28
				74	24,5	28
R	64/2	6	1,33	201	5,2	28
				199	5,0	28
				200	5,7	28
S	64/2	6	1,20	178	6,5	28
				179	6,0	28
				178	6,5	28
T	64/2	6	0,85	127	7,6	28
				128	8,6	28
				129	7,4	28
U	64/2	6	0,75	114	8,8	28
				112	9,1	28
				113	9,3	28
V	64/4	4	2,00	199	11,8	28
				200	11,8	28
				199	11,7	28
Z	64/4	4	1,33	133	16,7	28
				132	14,6	28
				132	14,0	28
Y	64/4	4	0,85	85	22,5	28
				85	23,1	28
				84	21,3	28
X	64/4	4	0,75	75	22,8	28
				74	20,9	28
				75	23,1	28

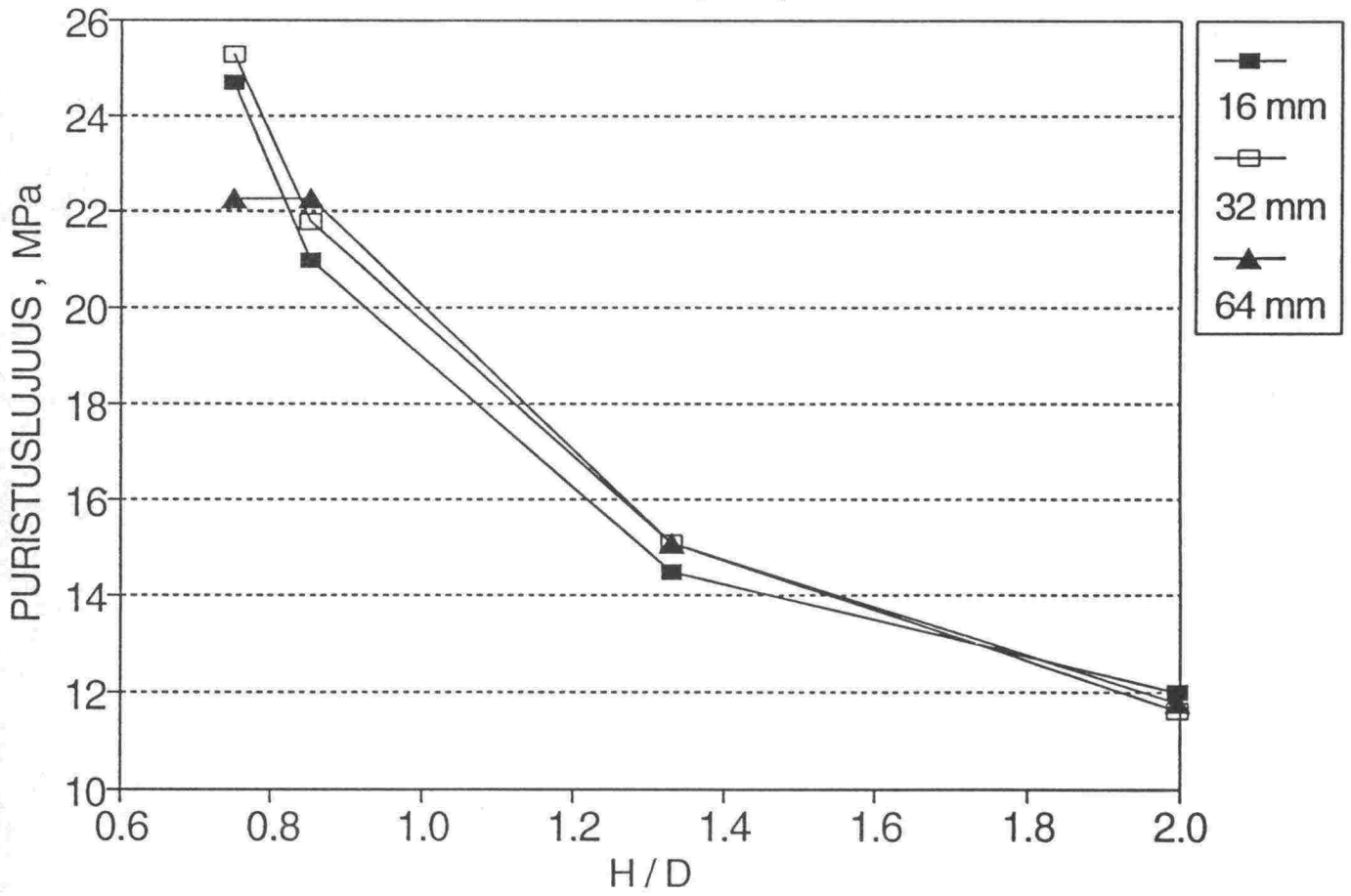
Tunnus	Max. raekoko, mm/side- pitoisuus %	Muot- tikoko	h /d- suhde	Korkeus mm	Märkäirto- tiheys g/cm <sup>3</sup>	Puris- tuslujuus	Puristusikä vrk
2A	16/2	4	2,00	201	2,34	9,0	91
				200	2,36	8,4	91
				201	2,35	7,3	91
2B	16/2	4	1,33	133	2,38	11,8	91
				133	2,36	10,6	91
				132	2,38	11,3	91
2C	16/2	4	0,85	84	2,36	17,7	91
				85	2,39	16,6	91
				85	2,38	18,5	91
2D	16/2	4	0,75	75	2,35	18,7	91
				76	2,36	18,7	91
				75	2,37	18,7	91
2E	16/4	6	1,33	201	2,33	19,3	91
				200	2,35	18,9	91
				201	2,37	19,4	91
2F	16/4	6	1,20	179	2,35	21,4	91
				180	2,39	21,7	91
				179	2,33	20,2	91
2G	16/4	6	0,85	129	2,33	28,7	91
				129	2,37	27,5	91
				127	2,35	27,0	91
2H	16/4	6	0,75	112	2,35	31,8	91
				113	2,34	28,7	91
				114	2,33	28,2	91
2I	32/2	4	2,00	200	2,40	7,6	91
				200	2,37	8,7	91
				199	2,37	7,9	91
2J	32/2	4	1,33	133	2,38	10,7	91
				133	2,35	10,1	91
				133	2,37	9,7	91
2K	32/2	4	0,85	86	2,42	17,2	91
				85	2,39	15,3	91
				84	2,38	16,1	91
2L	32/2	4	0,75	75	2,38	17,5	91
				75	2,37	19,9	91
				75	2,38	17,3	91



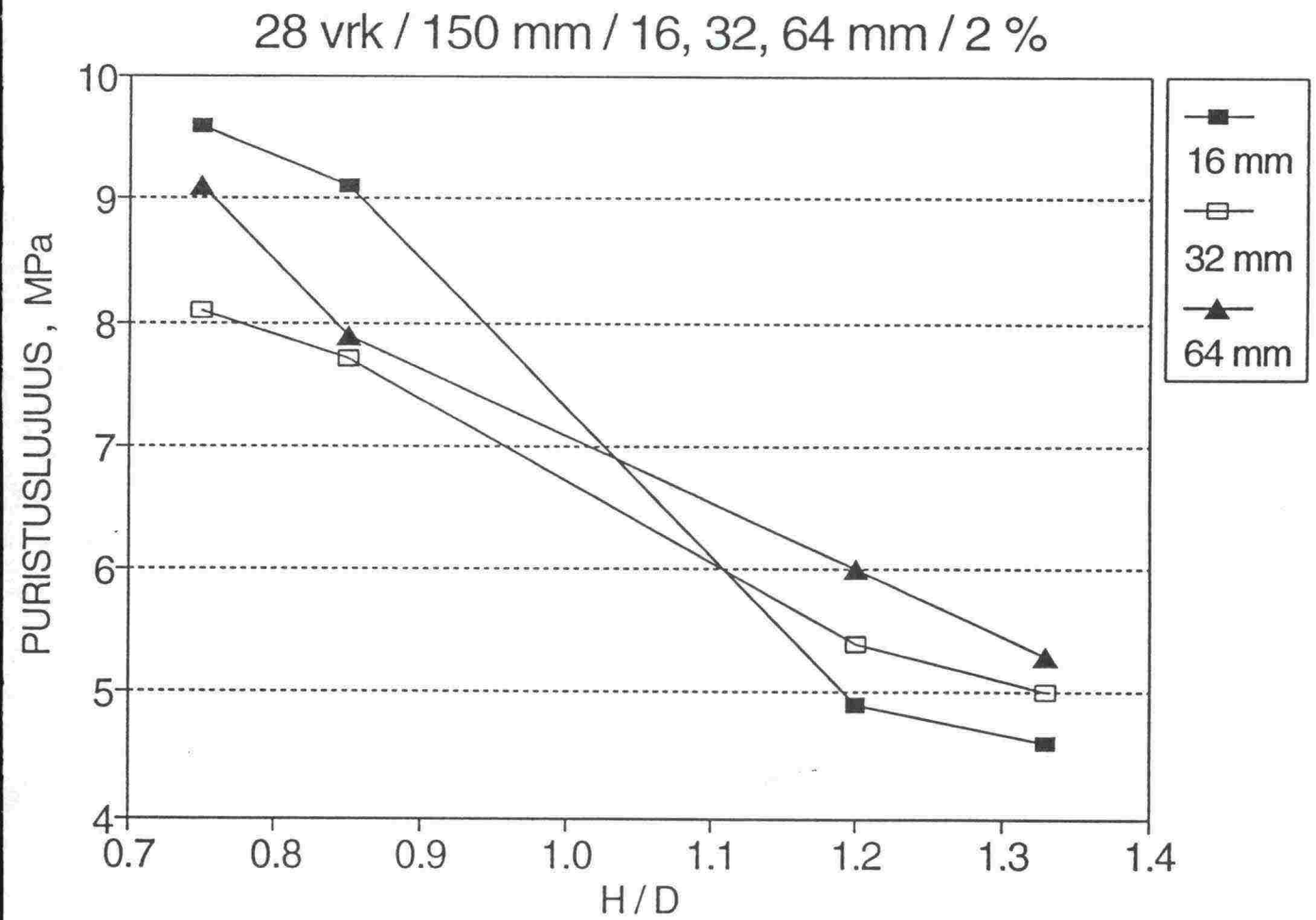
Tunnus	Max. raekoko, mm/side- pitoisuus %	Muot- tikoko	h /d- suhde	Korkeus mm	Märkäirto- tiheys g/cm <sup>3</sup>	Puris- tuslujuus	Puristusikä vrk
2M	32/4	6	1,33	200	2,37	19,4	91
				199	2,36	17,8	91
				199	2,37	19,8	91
2N	32/4	6	1,20	180	2,38	20,4	91
				178	2,38	20,7	91
				179	2,37	20,0	91
2O	32/4	6	0,85	128	2,39	26,6	91
				127	2,37	26,2	91
				128	2,37	26,1	91
2P	32/4	6	0,75	112	2,41	29,3	91
				112	2,35	29,2	91
				114	2,42	29,6	91
2R	64/2	4	2,00	201	2,43	8,7	91
				200	2,43	8,5	91
				200	2,45	8,8	91
2S	64/2	4	1,33	133	2,44	11,0	91
				133	2,45	11,5	91
				133	2,46	12,4	91
2T	64/2	4	0,85	85	2,49	(24,1)	91
				85	2,43	15,9	91
				85	2,44	14,9	91
2U	64/2	4	0,75	75	2,44	14,6	91
				74	2,41	15,7	91
				75	2,49	18,6	91
2V	64/4	6	1,33	200	2,42	19,4	91
				199	2,41	18,4	91
				199	2,43	18,7	91
2Z	64/4	6	1,20	180	2,42	20,3	91
				179	2,40	21,0	91
				179	2,42	21,1	91
2Y	64/4	6	0,85	128	2,40	22,3	91
				127	2,43	24,7	91
				128	2,42	26,6	91
2X	64/4	6	0,75	113	2,44	27,6	91
				113	2,46	28,0	91
				114	2,43	28,7	91

Korkeus / halkaisija - suhteen vaikutus puristuslujuuteen.

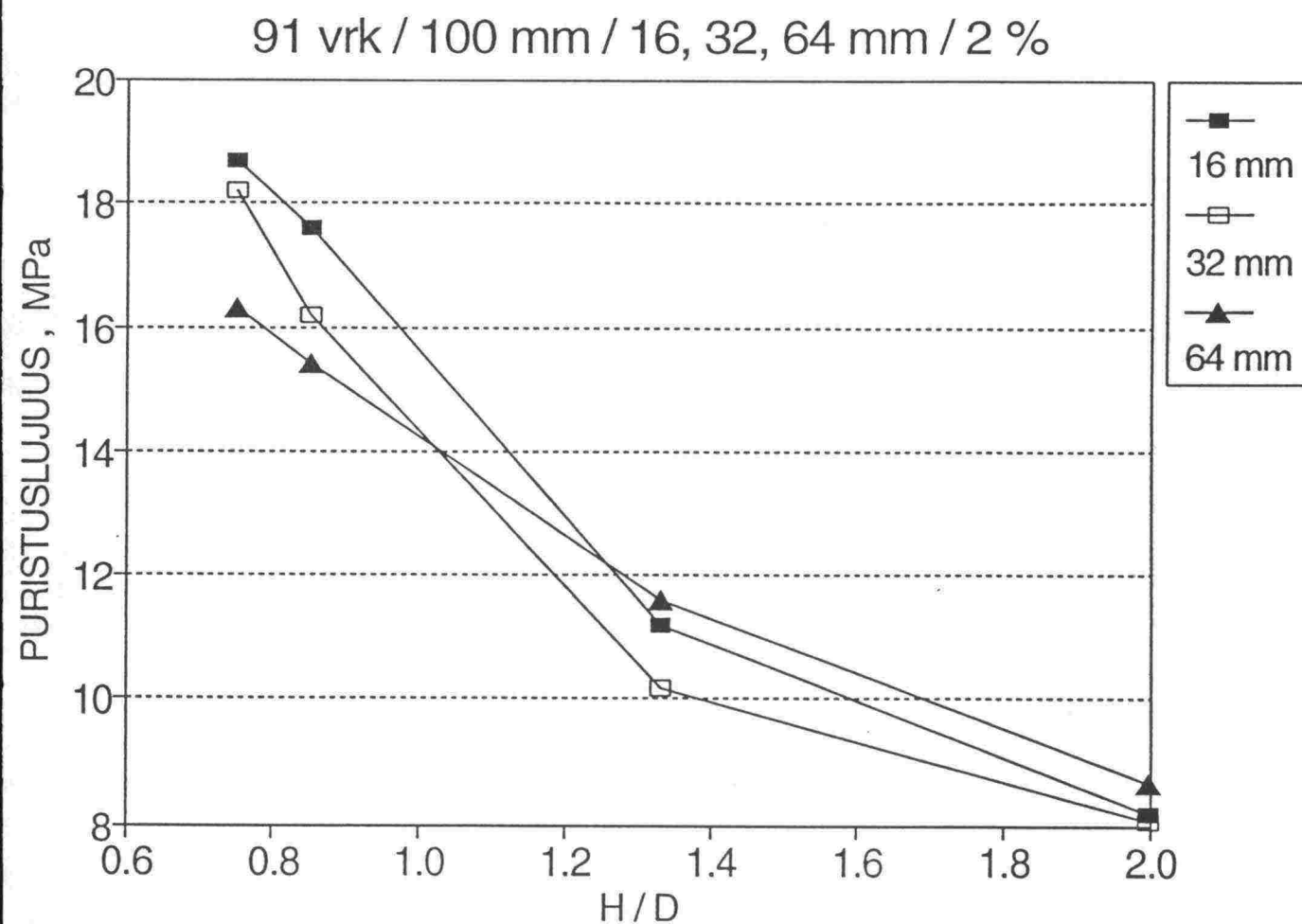
28 vrk / 100 mm / 16, 32, 64 mm / 4%



Korkeus / halkaisija - suhteen vaikutus puristuslujuuteen.

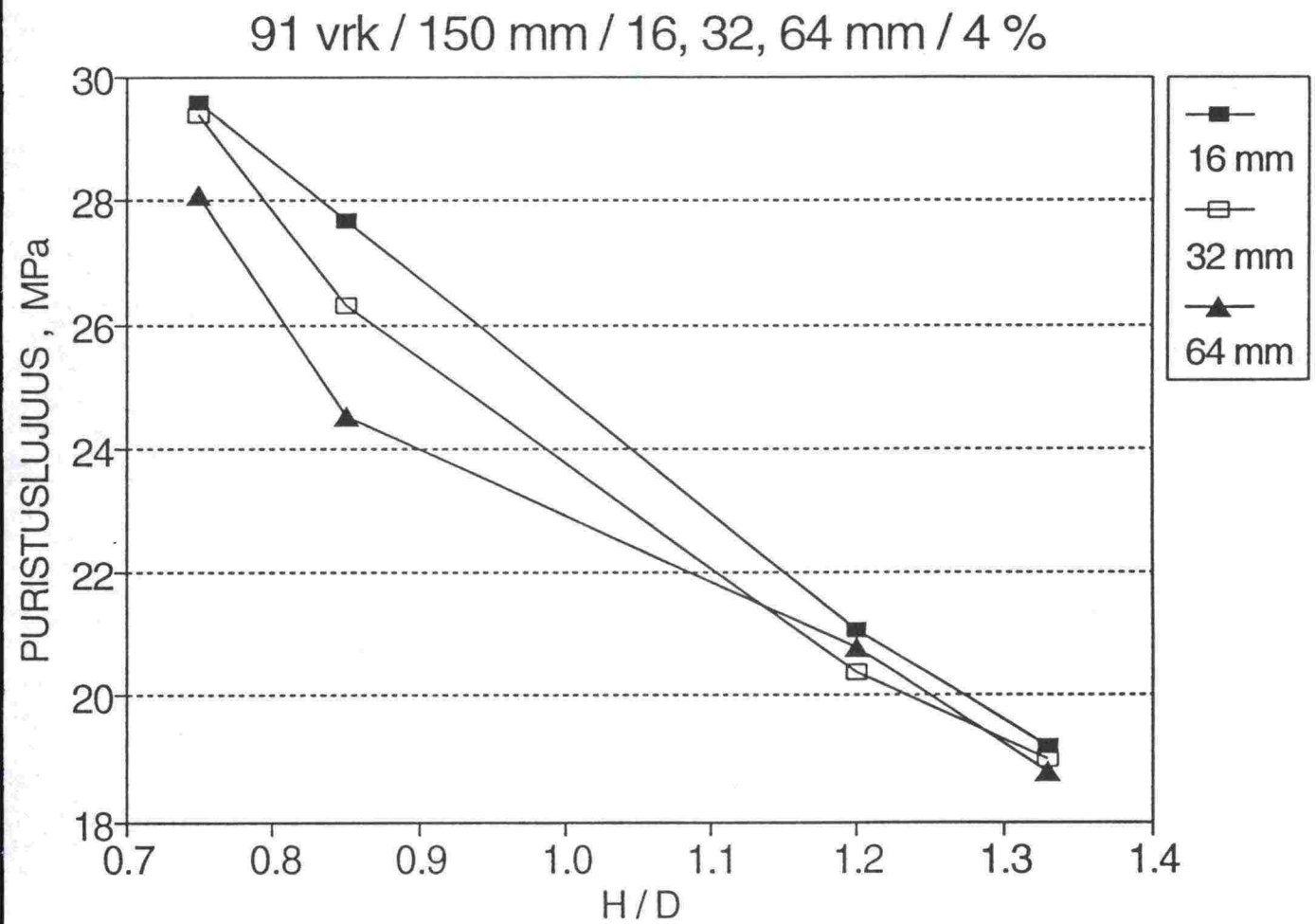


Korkeus / halkaisija - suhteen vaikutus puristuslujuuteen.





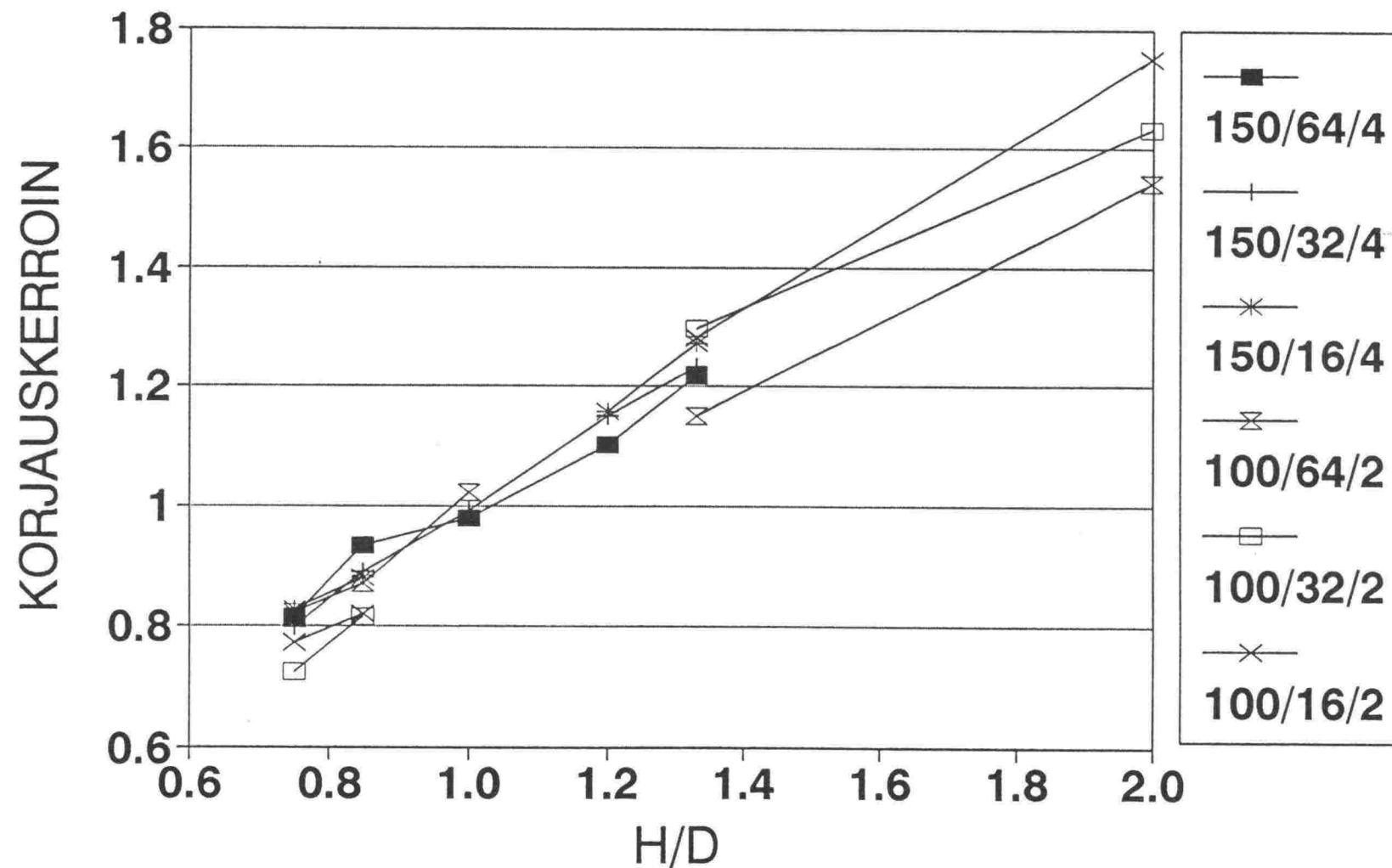
Korkeus / halkaisija - suhteen vaikutus puristuslujuuteen.



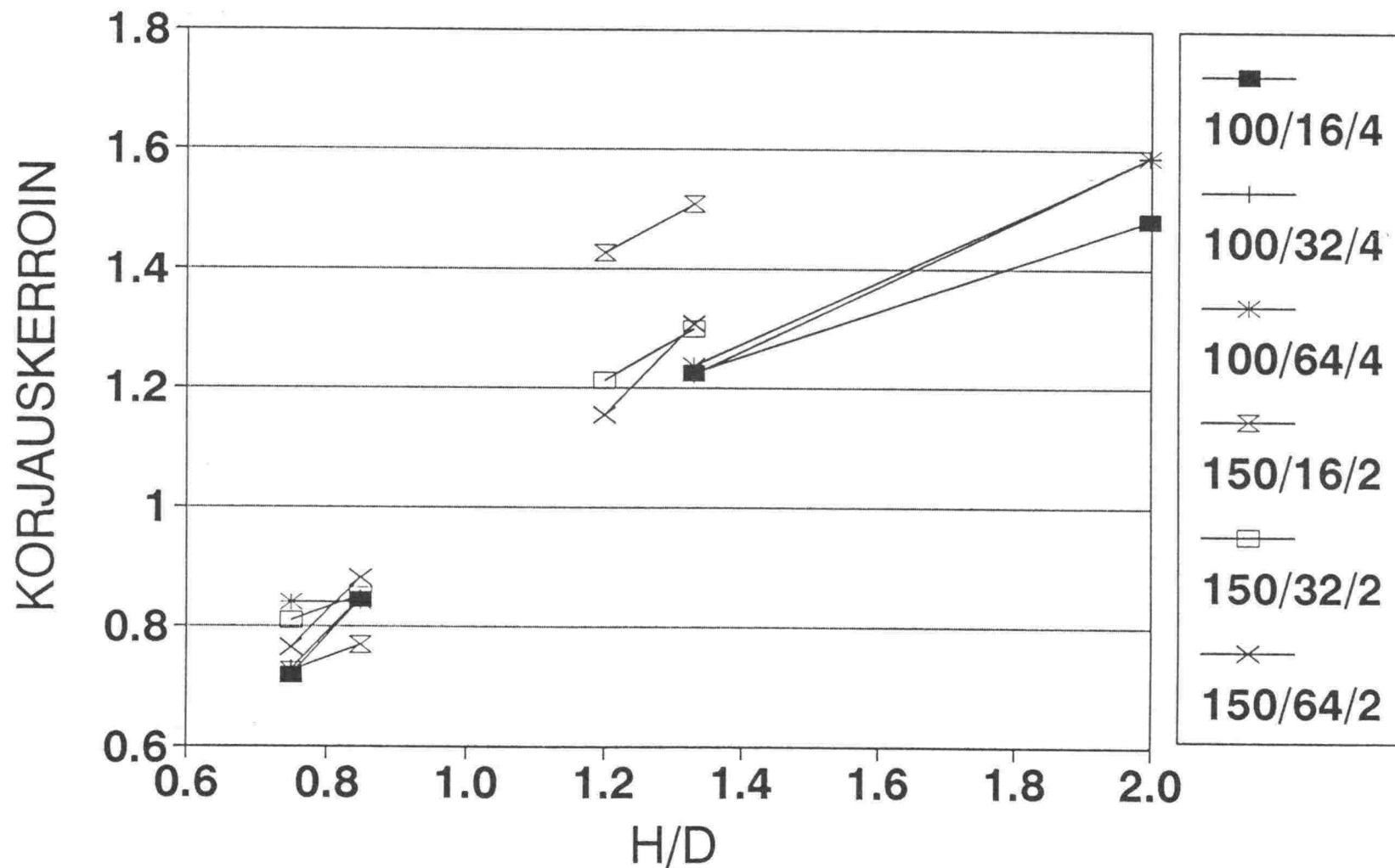
Puristuslujuuksien suhde eri h/d-suhteilla.

HAL- KAI- SIJA mm	MAKS. RAE- KOKO mm	SIDE- AINEPIT. %	KOES- TUSIKÄ vrk	PURISTUSLUJUUKSIEN SUHDE					
				0.75 / 2.00	0.75 / 1.33	0.75 / 1.20	0.75 / 0.85	1.33 / 2.00	1.20 / 1.33
100	16	2	91	2.28	1.67	-	1.06	1.37	-
100	32	2	91	2.25	1.78	-	1.12	1.26	-
100	64	2	91	1.87	1.41	-	1.06	1.33	-
150	16	4	91	-	1.54	1.40	1.07	-	1.10
150	32	4	91	-	1.55	1.44	1.12	-	1.07
150	64	4	91	-	1.50	1.35	1.15	-	1.11
150	16	2	28	-	2.09	1.96	1.05	-	1.07
150	32	2	28	-	1.62	1.50	1.05	-	1.08
150	64	2	28	-	1.72	1.52	1.15	-	1.13
100	16	4	28	2.06	1.70	-	1.18	1.21	-
100	32	4	28	2.18	1.68	-	1.16	1.30	-
100	64	4	28	1.89	1.48	-	1.00	1.28	-
ka				2.09	1.65	1.53	1.10	1.29	1.09

# MASSOJEN H/D-SUHTEIDEN KORJAUSKÄYRÄT 91 VRK



# MASSOJEN H/D-SUHTEIDEN KORJAUSKÄYRÄT 28 VRK

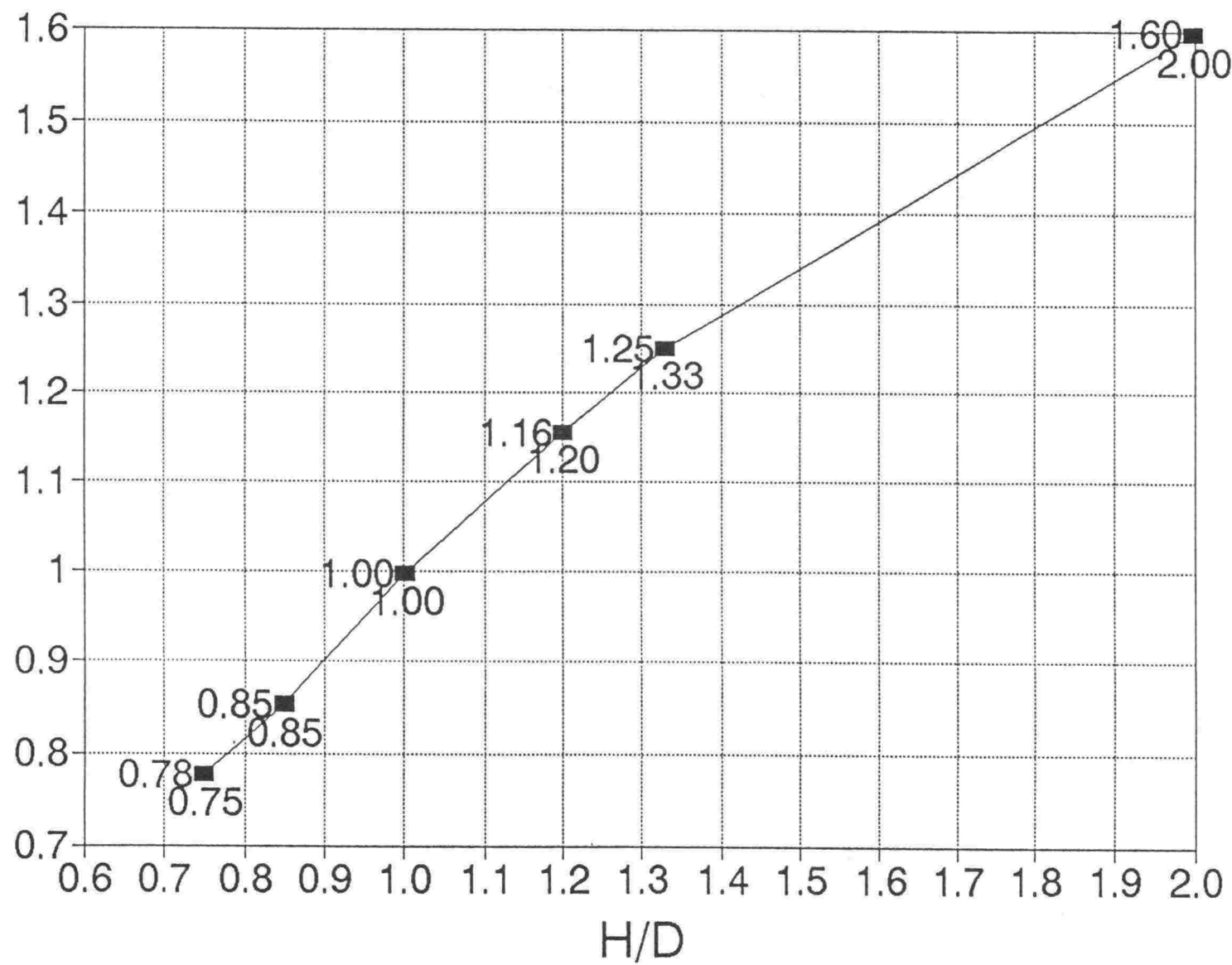




Lisänäytteiden (h/d = 1/1) puristuslujuudet.

NÄYTE- TUNNUS	HALKAI- SIJA mm	MAKS. RAE- KOKO mm	SIDE- AINEPIT. %	KOES- TUSIKÄ vrk	H/D- SUHDE	PURIS- TUSLUJ. MPa
3M	150	32	4	91	1.00	24.0
	150	32	4	91	1.00	24.2
	150	32	4	91	1.00	22.5
3R	100	64	2	91	1.00	13.6
	100	64	2	91	1.00	12.7
	100	64	2	91	1.00	12.9
3Z	150	64	4	91	1.00	25.0
	150	64	4	91	1.00	22.9
	150	64	4	91	1.00	22.2

# KORJAUSKERROIN



Puristuslujuuden korjauskerroin

Korjauskertoimien vaikutus puristuslujuuteen.

NÄYTE- TUNNUS	HALKAI- SIJA mm	MAKS. RAE- KOKO mm	SIDE- AINEPIT. %	KOES- TUSIKÄ vrk	H/D- SUHDE	PURISTUSLUJUUS MPa (KESKIARVO) / LUJUUDEN KORJAUSKERROIN				
						KORJAA- MATON LUJUUS	SAATU KORJ. KERR.	EDM. SAATU LUJUUS	VANHA KORJ. KERR.	EDM. SAATU LUJUUS
A	150	16	2	28	1.33	4.6	1.25	5.8	1.07	4.9
B	150	16	2	28	1.20	4.9	1.16	5.7	1.05	5.1
C	150	16	2	28	0.85	9.1	0.85	7.7	0.92	8.4
D	150	16	2	28	0.75	9.6	0.78	7.5	0.83	8.0
E	100	16	4	28	2.00	12.0	1.60	19.2	1.13	13.6
F	100	16	4	28	1.33	14.6	1.25	18.3	1.07	15.6
G	100	16	4	28	0.85	21.0	0.85	17.9	0.92	19.3
H	100	16	4	28	0.75	24.7	0.78	19.3	0.83	20.5
I	150	32	2	28	1.33	5.0	1.25	6.3	1.07	5.4
J	150	32	2	28	1.20	5.4	1.16	6.3	1.05	5.7
K	150	32	2	28	0.85	7.7	0.85	6.5	0.92	7.1
L	150	32	2	28	0.75	8.1	0.78	6.3	0.83	6.7

Korjauskertoimien vaikutus puristuslujuuteen.

NÄYTE- TUNNUS	HALKAI- SIJA mm	MAKS. RAE- KOKO mm	SIDE- AINEPIT. %	KOES- TUSIKÄ vrk	H/D- SUHDE	PURISTUSLUJUUS MPa (KESKIJARVO) / LUJUUDEN KORJAUSKERROIN				
						KORJAA- MATON LUJUUS	SAATU KORJ. KERR.	EDM. SAATU LUJUUS	VANHA KORJ. KERR.	EDM. SAATU LUJUUS
M	100	32	4	28	2.00	11.6	1.60	18.6	1.13	13.1
N	100	32	4	28	1.33	15.1	1.25	18.9	1.07	16.2
O	100	32	4	28	0.85	21.8	0.85	18.5	0.92	20.1
P	100	32	4	28	0.75	25.3	0.78	19.7	0.83	21.0
R	150	64	2	28	1.33	5.3	1.25	6.6	1.07	5.7
S	150	64	2	28	1.20	6.0	1.16	7.0	1.05	6.3
T	150	64	2	28	0.85	7.9	0.85	6.7	0.92	7.3
U	150	64	2	28	0.75	9.1	0.78	7.1	0.83	7.6
V	100	64	4	28	2.00	11.8	1.60	18.9	1.13	13.3
Z	100	64	4	28	1.33	15.1	1.25	18.9	1.07	16.2
Y	100	64	4	28	0.85	22.3	0.85	19.0	0.92	20.5
X	100	64	4	28	0.75	22.3	0.78	17.4	0.83	18.5



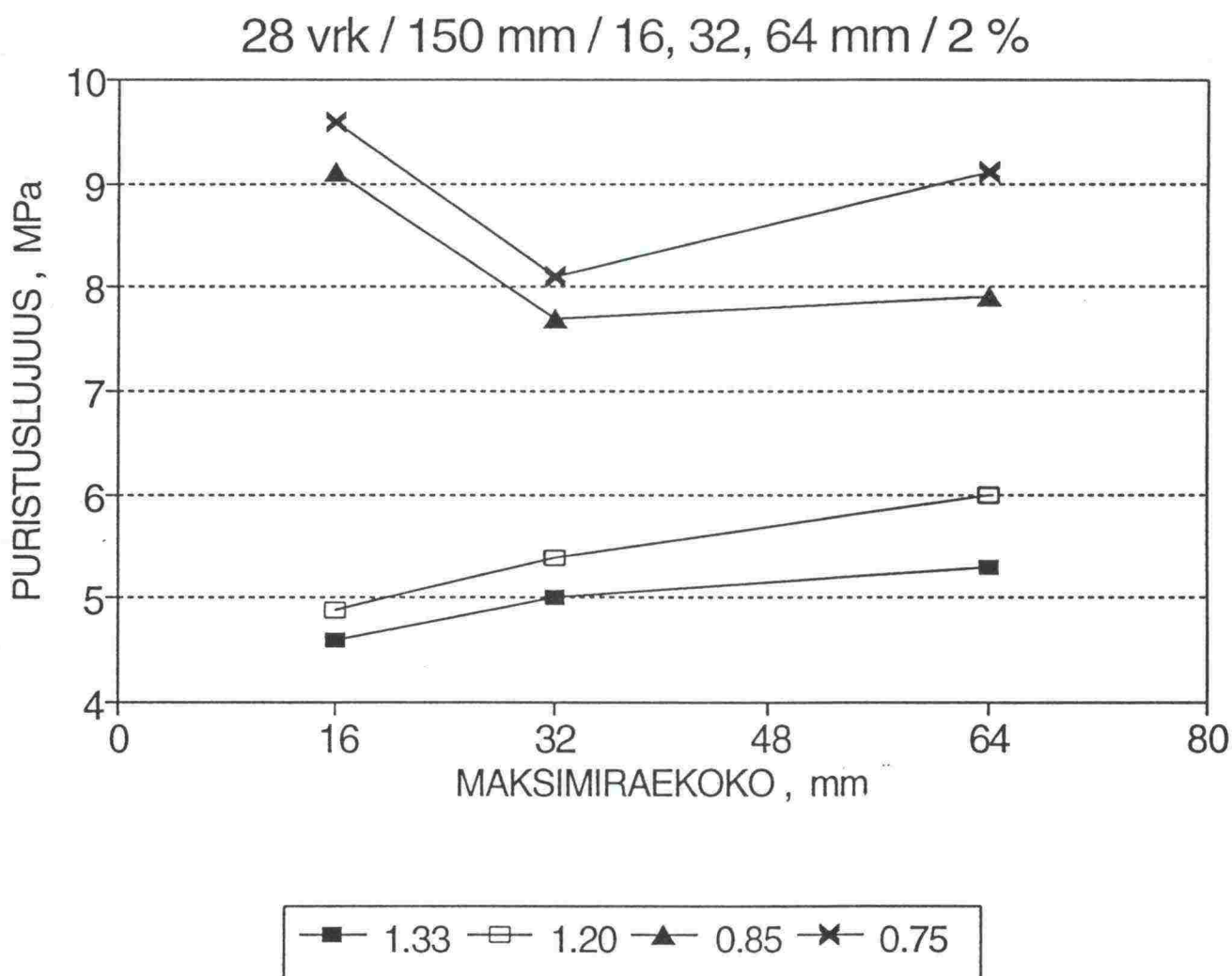
Korjauskertoimien vaikutus puristuslujuuteen.

NÄYTE- TUNNUS	HALKAI- SIJA mm	MAKS. RAE- KOKO mm	SIDE- AINEPIT. %	KOES- TUSIKÄ vrk	H/D- SUHDE	PURISTUSLUJUUS MPa (KESKIARVO) / LUJUUDEN KORJAUSKERROIN				
						KORJAA- MATON LUJUUS	SAATU KORJ. KERR.	EDM. SAATU LUJUUS	VANHA KORJ. KERR.	EDM. SAATU LUJUUS
2M	150	32	4	91	1.33	19.0	1.25	23.8	1.07	20.3
2N	150	32	4	91	1.20	20.4	1.16	23.7	1.05	21.4
2O	150	32	4	91	0.85	26.3	0.85	22.6	0.92	24.2
2P	150	32	4	91	0.75	29.4	0.78	22.9	0.83	24.4
2R	100	64	2	91	2.00	8.7	1.60	13.9	1.13	9.8
2S	100	64	2	91	1.33	11.6	1.25	14.5	1.07	12.4
2T	100	64	2	91	0.85	15.4	0.85	13.1	0.92	14.2
2U	100	64	2	91	0.75	16.3	0.78	12.7	0.83	13.5
2V	150	64	4	91	1.33	18.8	1.25	23.5	1.07	20.1
2Z	150	64	4	91	1.20	20.8	1.16	24.1	1.05	21.8
2Y	150	64	4	91	0.85	24.5	0.85	20.8	0.92	22.5
2X	150	64	4	91	0.75	28.1	0.78	21.9	0.83	23.3

Korjauskertoimien vaikutus puristuslujuuteen.

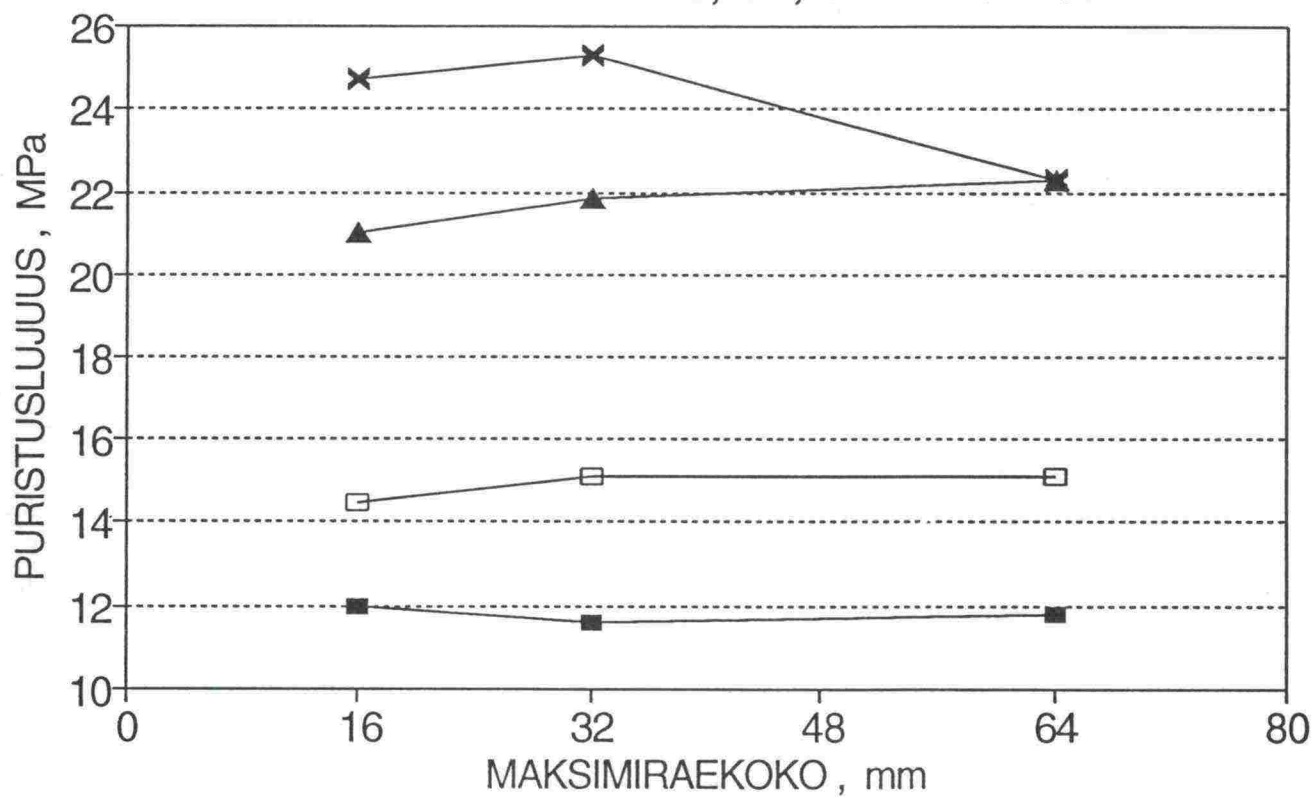
NÄYTE- TUNNUS	HALKAI- SIJA mm	MAKS. RAE- KOKO mm	SIDE- AINEPIT. %	KOES- TUSIKÄ vrk	H/D- SUHDE	PURISTUSLUJUUS MPa (KESKIARVO) / LUJUUDEN KORJAUSKERROIN				
						KORJAA- MATON LUJUUS	SAATU KORJ. KERR.	EDM. SAATU LUJUUS	VANHA KORJ. KERR.	EDM. SAATU LUJUUS
2A	100	16	2	91	2.00	8.2	1.60	13.1	1.13	9.3
2B	100	16	2	91	1.33	11.2	1.25	14.0	1.07	12.0
2C	100	16	2	91	0.85	17.6	0.85	15.0	0.92	16.2
2D	100	16	2	91	0.75	18.7	0.78	14.6	0.83	15.5
2E	150	16	4	91	1.33	19.2	1.25	24.0	1.07	20.5
2F	150	16	4	91	1.20	21.1	1.16	24.5	1.05	22.2
2G	150	16	4	91	0.85	27.7	0.85	23.5	0.92	25.5
2H	150	16	4	91	0.75	29.6	0.78	23.0	0.83	24.6
2I	100	32	2	91	2.00	8.1	1.60	13.0	1.13	9.2
2J	100	32	2	91	1.33	10.2	1.25	12.8	1.07	10.9
2K	100	32	2	91	0.85	16.3	0.85	13.9	0.92	15.0
2L	100	32	2	91	0.75	18.2	0.78	14.2	0.83	15.1

Maksimiraekoon vaikutus puristuslujuuteen eri h/d-suhteilla.



Maksimiraekoon vaikutus puristuslujuuteen eri h/d-suhteilla.

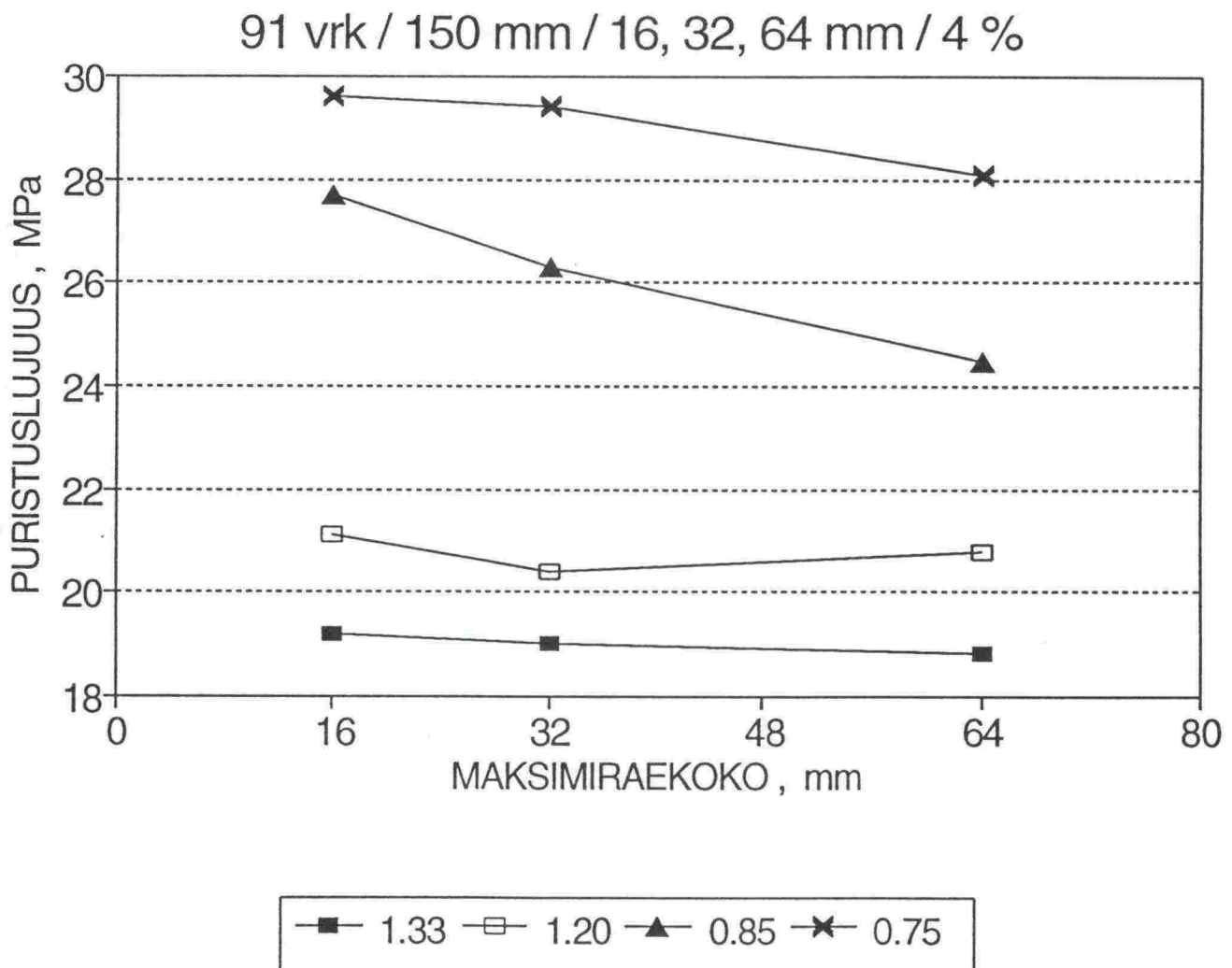
28 vrk / 100 mm / 16, 32, 64 mm / 4 %



■ 2.00 □ 1.33 ▲ 0.85 ✕ 0.75

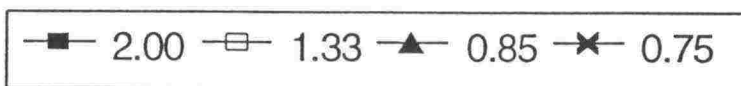
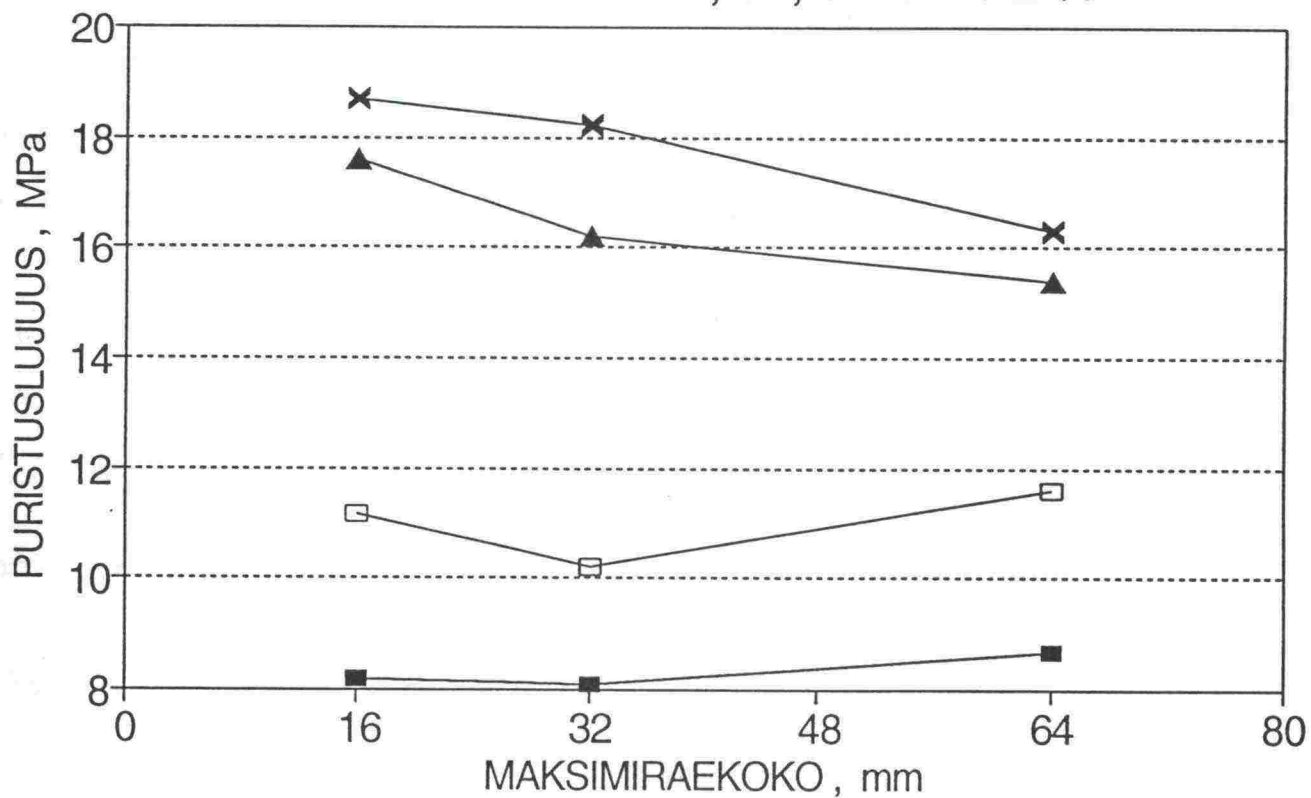


Maksimiraekoon vaikutus puristuslujuuteen eri h/d-suhteilla.



Maksimiraekoon vaikutus puristuslujuuteen eri h/d-suhteilla.

91 vrk / 100 mm / 16, 32, 64 mm / 2 %



Näyte­kappaleen halkaisijan vaikutus puristus­lujuuteen.

NÄYTE- TUNNUS	HALKAI- SIJA mm	MAKS. RAE- KOKO mm	SIDE- AINEPIT. %	KOES- TUSIKÄ vrk	H/D- SUHDE	PURIS- TUSLUJ. KA MPa	PURIS- TUSLUJ. SUHDE 100/150
2B	100	16	2	91	1.33	11.2	1.10
3B	150	16	2	91		10.2	
2D	100	16	2	91	0.75	18.7	1.19
3D	150	16	2	91		15.7	
3E	100	16	4	91	1.33	21.5	1.12
2E	150	16	4	91		19.2	
3H	100	16	4	91	0.75	33.7	1.14
2H	150	16	4	91		29.6	
2J	100	32	2	91	1.33	10.2	1.13
3J	150	32	2	91		9.0	
2L	100	32	2	91	0.75	18.2	1.21
3L	150	32	2	91		15.0	
2S	100	64	2	91	1.33	11.6	1.22
3S	150	64	2	91		9.5	
3V	100	64	4	91	1.33	20.2	1.07
2V	150	64	4	91		18.8	

Näytekappaleen halkaisijan ja h/d-suhteen vaikutus puristuslujuuteen.

NÄYTE- TUNNUS	HALKAI- SIJA mm	MAKS. RAE- KOKO mm	SIDE- AINEPIT. %	KOES- TUSIKÄ vrk	H/D- SUHDE	KORJAAMATON PURISTUSLUJ. MPa		LUJ. KORJ. KERR.	KORJATTU PURISTUSLUJ. MPa	
						YKSITT. ARVO	KA		YKSITT. ARVO	KA
A	150	16	2	28	1.33	4.6	7.1	1.15	5.3	8.1
B	150	16	2	28	1.20	4.9		1.15	5.6	
C	150	16	2	28	0.85	9.1		1.15	10.5	
D	150	16	2	28	0.75	9.6		1.15	11.0	
E	100	16	4	28	2.00	12.0	18.1	-	12.0	18.1
F	100	16	4	28	1.33	14.5		-	14.5	
G	100	16	4	28	0.85	21.0		-	21.0	
H	100	16	4	28	0.75	24.7		-	24.7	
I	150	32	2	28	1.33	5.0	6.6	1.15	5.8	7.6
J	150	32	2	28	1.20	5.4		1.15	6.2	
K	150	32	2	28	0.85	7.7		1.15	8.9	
L	150	32	2	28	0.75	8.1		1.15	9.3	



Näyte­kappaleen halkaisijan ja h/d-suhteen vaikutus puristuslujuuteen.

NÄYTE- TUNNUS	HALKAI- SIJA mm	MAKS. RAE- KOKO mm	SIDE- AINEPIT. %	KOES- TUSIKÄ vrk	H/D- SUHDE	KORJAAMATON PURISTUSLUJ. MPa		LUJ. KORJ. KERR.	KORJATTU PURISTUSLUJ. MPa	
						YKSITT. ARVO	KA		YKSITT. ARVO	KA
M	100	32	4	28	2.00	11.6	18.5	-	11.6	18.5
N	100	32	4	28	1.33	15.1		-	15.1	
O	100	32	4	28	0.85	21.8		-	21.8	
P	100	32	4	28	0.75	25.3		-	25.3	
R	150	64	2	28	1.33	5.3	7.1	1.15	6.1	8.2
S	150	64	2	28	1.20	6.0		1.15	6.9	
T	150	64	2	28	0.85	7.9		1.15	9.1	
U	150	64	2	28	0.75	9.1		1.15	10.5	
V	100	64	4	28	2.00	11.8	17.9	-	11.8	17.9
Z	100	64	4	28	1.33	15.1		-	15.1	
Y	100	64	4	28	0.85	22.3		-	22.3	
X	100	64	4	28	0.75	22.3		-	22.3	

Näytekappaleen halkaisijan ja h/d-suhteen vaikutus puristuslujuuteen.

NÄYTE- TUNNUS	HALKAI- SIJA mm	MAKS. RAE- KOKO mm	SIDE- AINEPIT. %	KOES- TUSIKÄ vrk	H/D- SUHDE	KORJAAMATON PURISTUSLUJ. MPa		LUJ. KORJ. KERR.	KORJATTU PURISTUSLUJ. MPa	
						YKSITT. ARVO	KA		YKSITT. ARVO	KA
2A	100	16	2	91	2.00	8.2	13.9	-	8.2	13.9
2B	100	16	2	91	1.33	11.2		-	11.2	
2C	100	16	2	91	0.85	17.6		-	17.6	
2D	100	16	2	91	0.75	18.7		-	18.7	
2E	150	16	4	91	1.33	19.2	24.4	1.15	22.1	28.1
2F	150	16	4	91	1.20	21.1		1.15	24.3	
2G	150	16	4	91	0.85	27.7		1.15	31.9	
2H	150	16	4	91	0.75	29.6		1.15	34.0	
2I	100	32	2	91	2.00	8.1	13.2	-	8.1	13.2
2J	100	32	2	91	1.33	10.2		-	10.2	
2K	100	32	2	91	0.85	16.3		-	16.3	
2L	100	32	2	91	0.75	18.2		-	18.2	

Näyte­kappaleen halkaisijan ja h/d-suhteen vaikutus puristuslujuuteen.

NÄYTE- TUNNUS	HALKAI- SIJA mm	MAKS. RAE- KOKO mm	SIDE- AINEPIT. %	KOES- TUSIKÄ vrk	H/D- SUHDE	KORJAAMATON PURISTUSLUJ. MPa		LUJ. KORJ. KERR.	KORJATTU PURISTUSLUJ. MPa	
						YKSITT. ARVO	KA		YKSITT. ARVO	KA
2M	150	32	4	91	1.33	19.0	23.8	1.15	21.9	27.4
2N	150	32	4	91	1.20	20.4		1.15	23.5	
2O	150	32	4	91	0.85	26.3		1.15	30.2	
2P	150	32	4	91	0.75	29.4		1.15	33.8	
2R	100	64	2	91	2.00	8.7	13.0	-	8.7	13.0
2S	100	64	2	91	1.33	11.6		-	11.6	
2T	100	64	2	91	0.85	15.4		-	15.4	
2U	100	64	2	91	0.75	16.3		-	16.3	
2V	150	64	4	91	1.33	18.8	23.1	1.15	21.6	26.6
2Z	150	64	4	91	1.20	20.8		1.15	23.9	
2Y	150	64	4	91	0.85	24.5		1.15	28.2	
2X	150	64	4	91	0.75	28.1		1.15	32.3	

Yhteismitalliset, korjatut puristuslujuudet.

NÄYTE- TUNNUS	HALKAI- SIJA mm	MAKS. RAE- KOKO mm	SIDE- AINEPIT. %	KOES- TUSIKÄ vrk	H/D- SUHDE	PURISTUSLUJUUS MPa		KOES- TUSIKÄ vrk	PURISTUSLUJUUS MPa	
						YKSITT. ARVO	KA		YKSITT. ARVO	KA
A/B	150/100	16	2	28	1.33	5.3	8.9	91	11.2	15.8
C		16	2	28	0.85	10.5		91	17.6	
D		16	2	28	0.75	11.0		91	18.7	
E/F	100/150	16	4	28	1.33	14.5	20.1	91	22.1	29.3
G		16	4	28	0.85	21.0		91	31.9	
H		16	4	28	0.75	24.7		91	34.0	
I/J	150/100	32	2	28	1.33	5.8	8.0	91	10.2	14.9
K		32	2	28	0.85	8.9		91	16.3	
L		32	2	28	0.75	9.3		91	18.2	

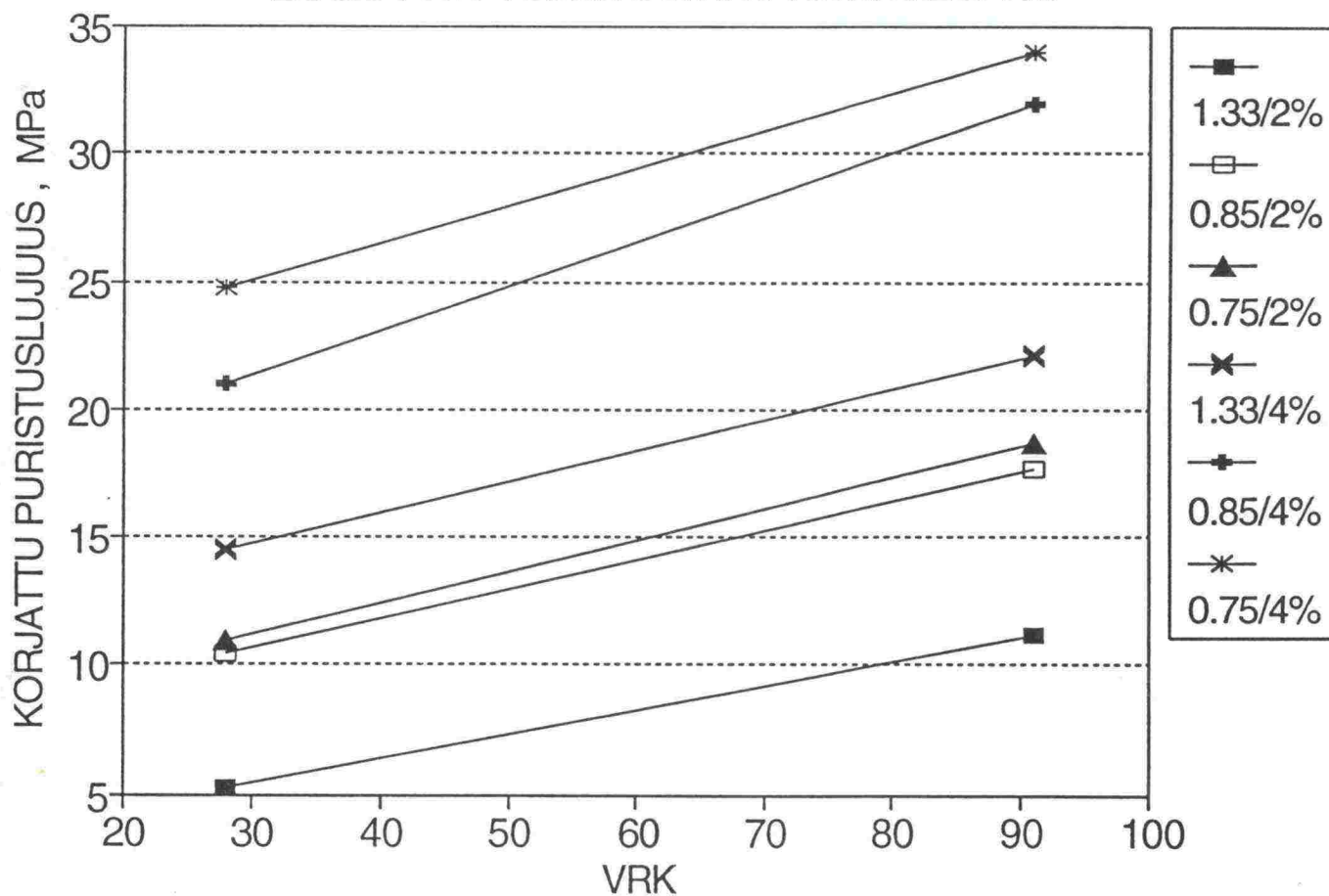


Yhteismitalliset, korjatut puristuslujuudet.

NÄYTE- TUNNUS	HALKAI- SIJA mm	MAKS. RAE- KOKO mm	SIDE- AINEPIT. %	KOES- TUSIKÄ vrk	H/D- SUHDE	PURISTUSLUJUUS MPa		KOES- TUSIKÄ vrk	PURISTUSLUJUUS MPa	
						YKSITT. ARVO	KA		YKSITT. ARVO	KA
M/N	100/150	32	4	28	1.33	15.1	20.7	91	21.9	28.6
O		32	4	28	0.85	21.8		91	30.2	
P		32	4	28	0.75	25.3		91	33.8	
R/S	150/100	64	2	28	1.33	6.1	8.6	91	11.6	14.4
T		64	2	28	0.85	9.1		91	15.4	
U		64	2	28	0.75	10.5		91	16.3	
V/Z	100/150	64	4	28	1.33	15.1	19.9	91	21.6	27.4
Y		64	4	28	0.85	22.3		91	28.2	
X		64	4	28	0.75	22.3		91	32.3	

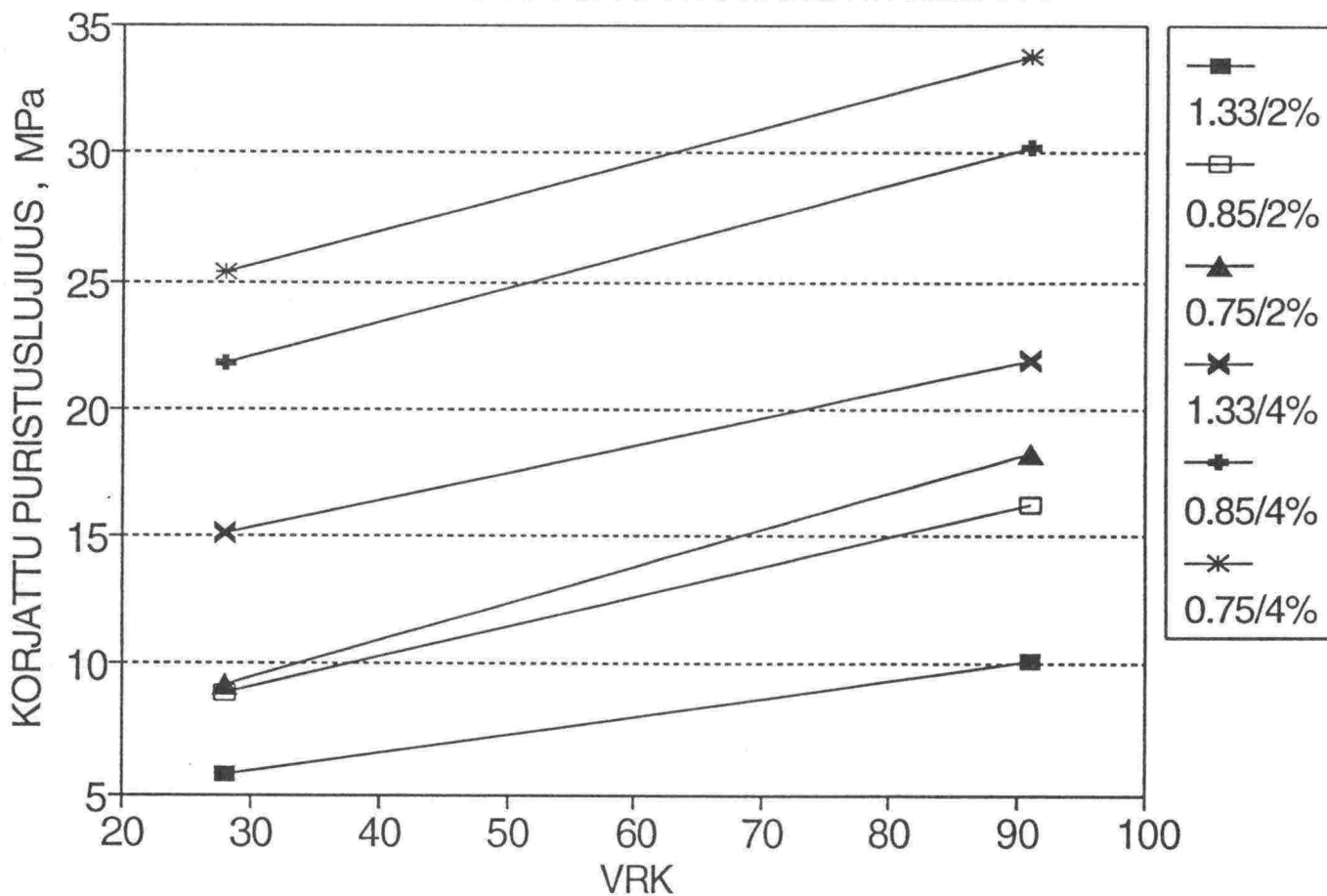
Lujuuden kehitys eri h/d-suhteilla.

28&91vrk/100&150mm/16mm/2&4%



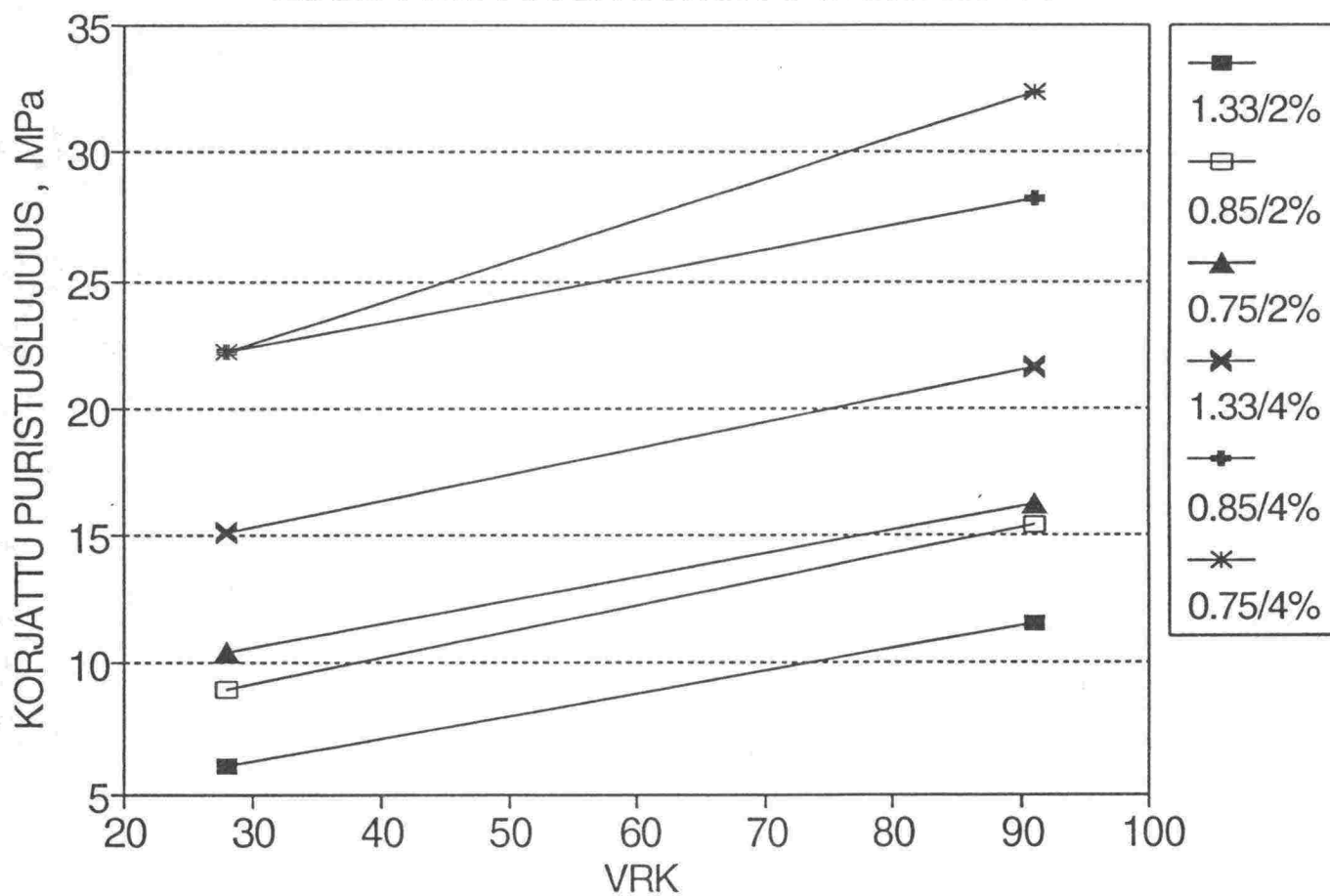
Lujuuden kehitys eri h/d-suhteilla.

28&91vrk/100&150mm/32mm/2&4%



Lujuuden kehitys eri h/d-suhteilla.

28&91vrk/100&150mm/64mm/2&4%



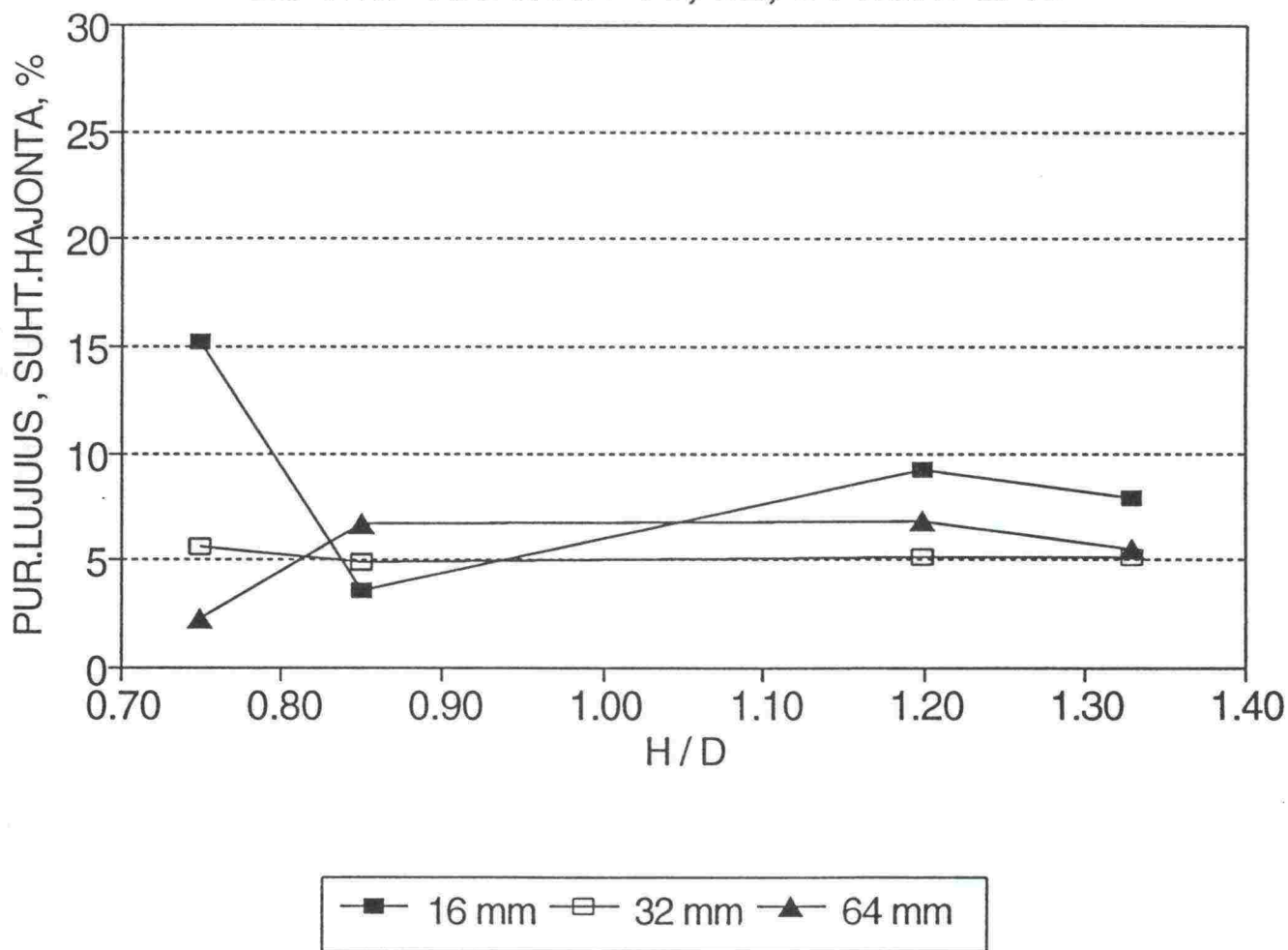


Puristuslujuuksien keskihajonnat ja suhteelliset hajonnat.

NÄYTE	KESKI- HAJ.	SUHT. HAJ. %	NÄYTE	KESKI- HAJ.	SUHT. HAJ. %	NÄYTE	KESKI- HAJ.	SUHT. HAJ. %	NÄYTE	KESKI- HAJ.	SUHT. HAJ. %
A	0.37	7.9	M	0.93	8.0	2A	0.70	8.6	2M	0.86	4.5
B	0.45	9.3	N	0.79	5.3	2B	0.49	4.4	2N	0.29	1.4
C	0.33	3.6	O	0.45	2.1	2C	0.78	4.4	2O	0.22	0.8
D	1.46	15.1	P	0.65	2.6	2D	0.00	0.0	2P	0.17	0.6
E	0.12	1.0	R	0.29	5.6	2E	0.22	1.1	2R	0.12	1.4
F	0.67	4.6	S	0.41	6.8	2F	0.65	3.1	2S	0.58	5.0
G	1.42	6.7	T	0.52	6.7	2G	0.71	2.6	2T	4.12	26.8
H	1.37	5.6	U	0.21	2.3	2H	1.59	5.4	2U	1.69	10.4
I	0.26	5.2	V	0.05	0.4	2I	0.46	5.8	2V	0.42	2.2
J	0.28	5.2	Z	1.16	7.7	2J	0.41	4.0	2Z	0.36	1.7
K	0.37	4.9	Y	0.75	3.4	2K	0.78	4.8	2Y	1.76	7.2
L	0.45	5.6	X	0.97	4.4	2L	1.18	6.5	2X	0.45	1.6

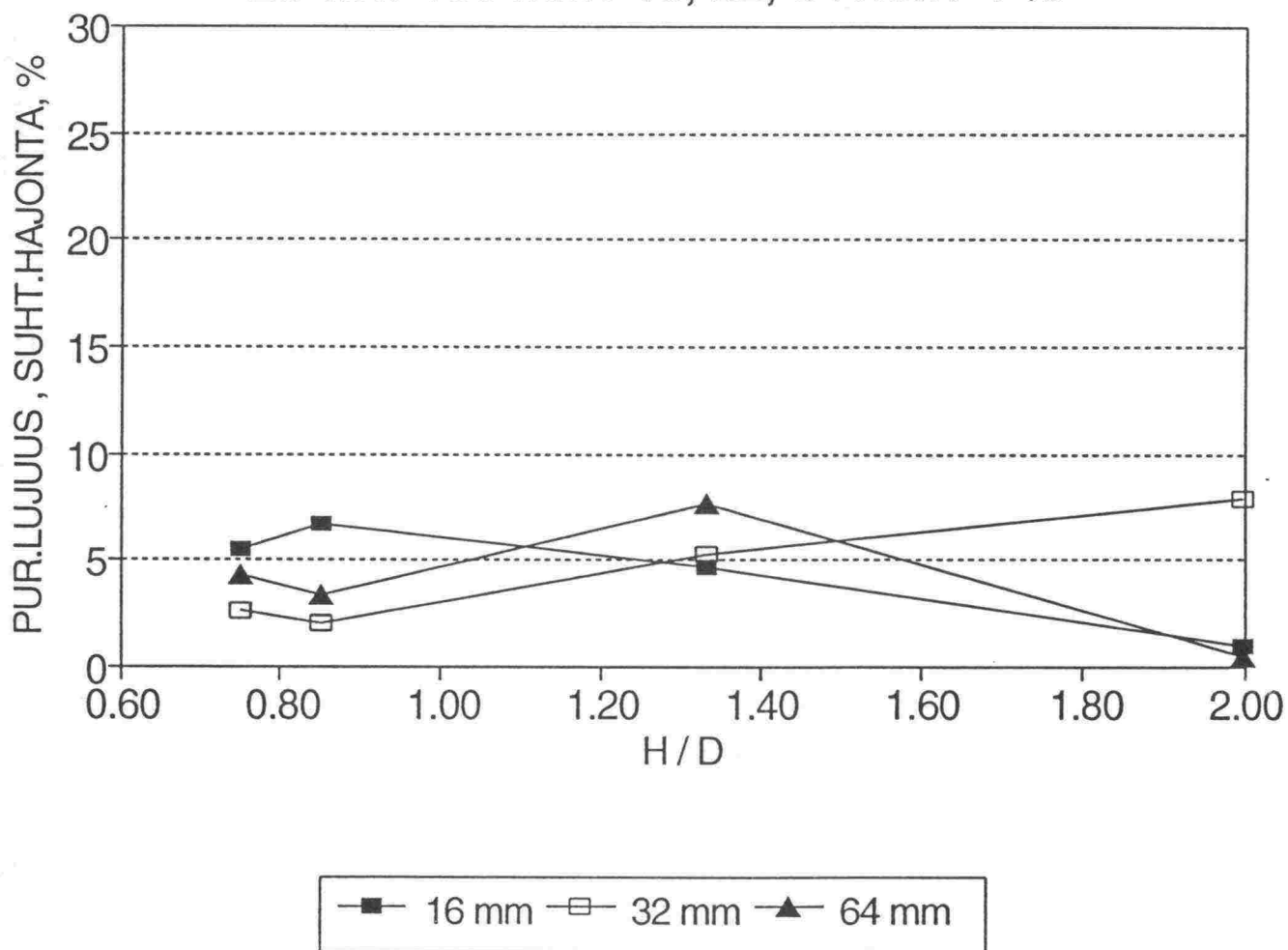
Puristuslujuuden suhteellinen hajonta eri h/d-suhteilla.

28 vrk / 150 mm / 16, 32, 64 mm / 2 %



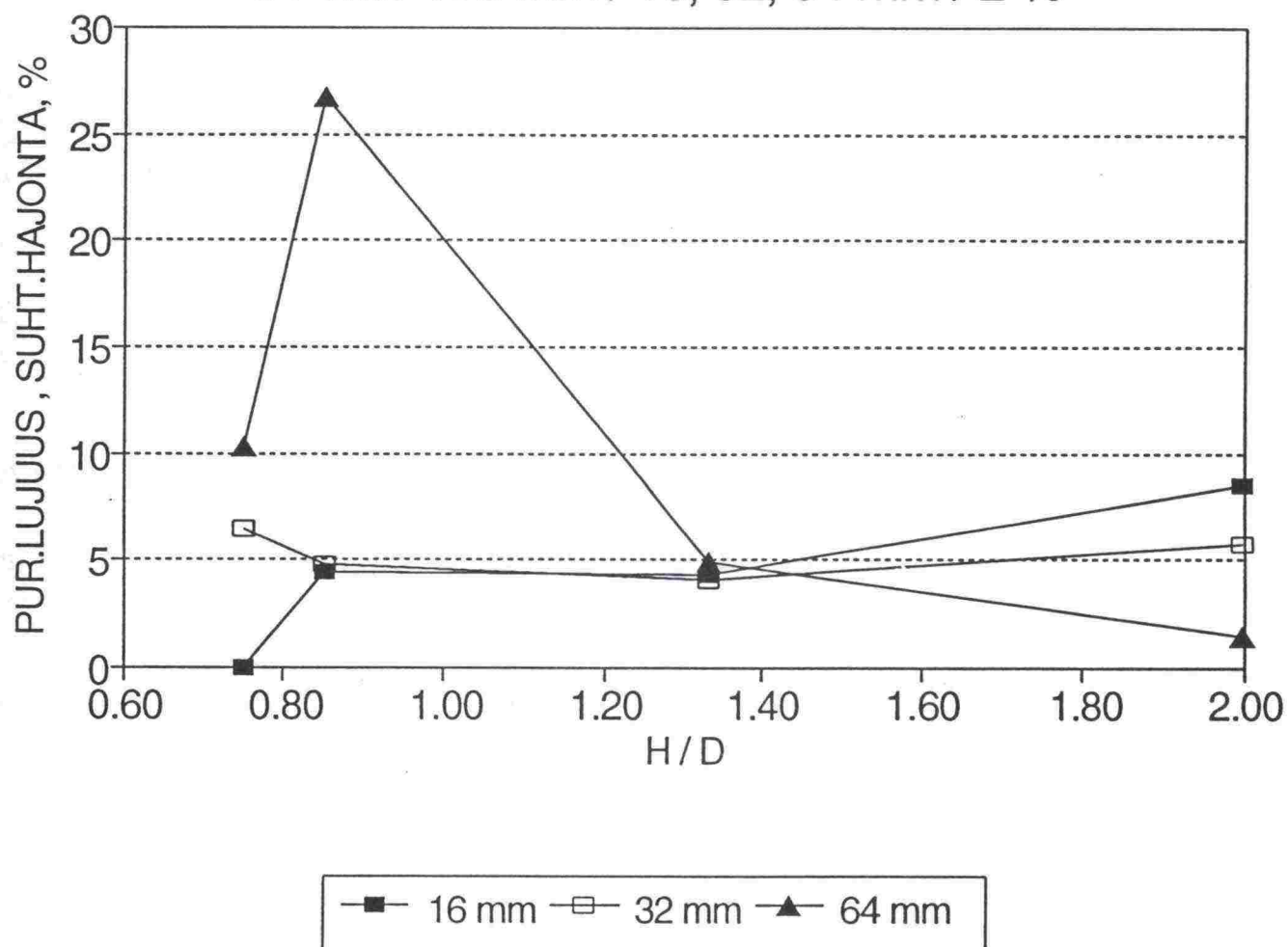
Puristuslujuuden suhteellinen hajonta eri h/d-suhteilla.

28 vrk / 100 mm / 16, 32, 64 mm / 4 %



Puristuslujuuden suhteellinen hajonta eri h/d-suhteilla.

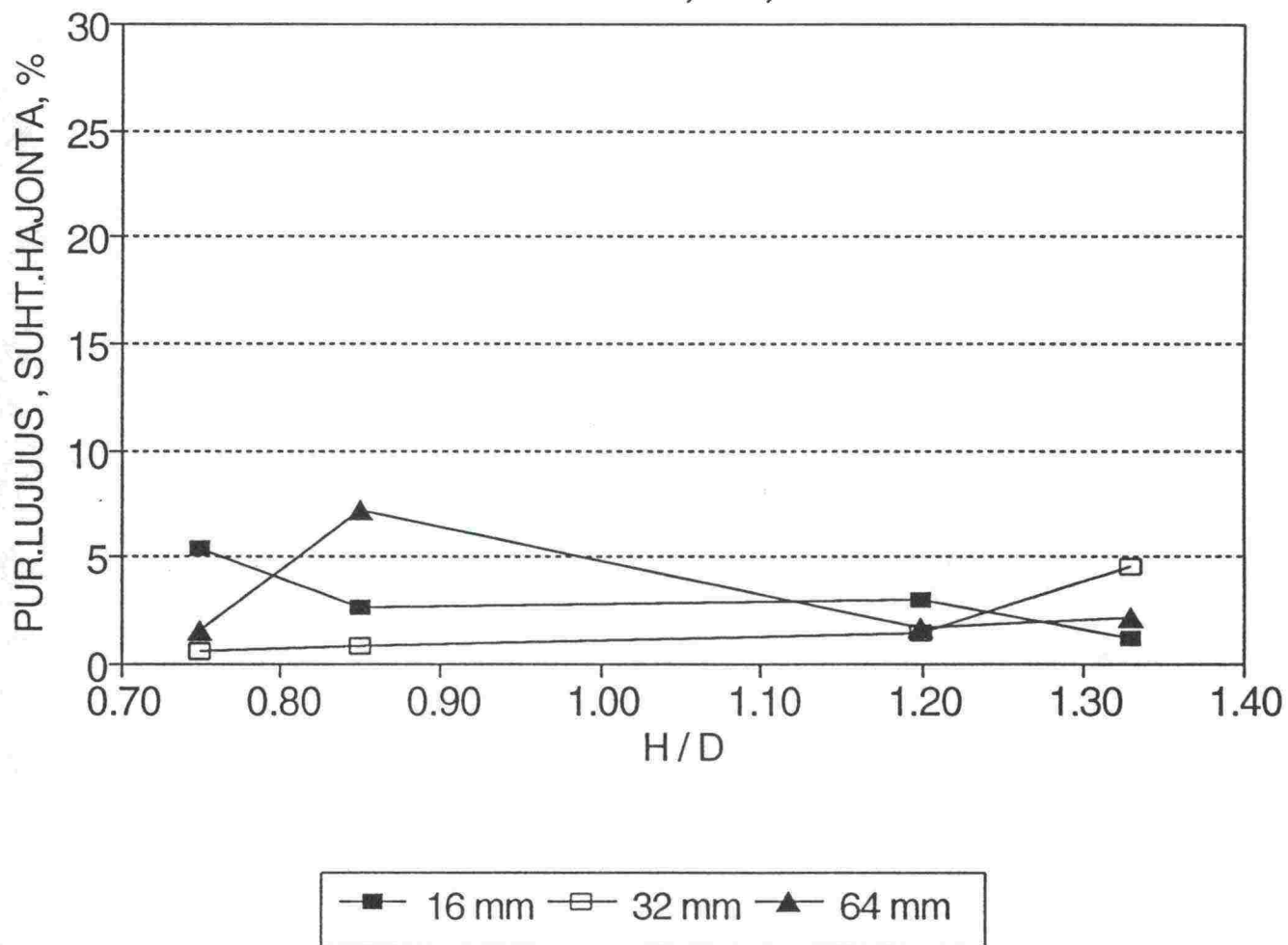
91 vrk / 100 mm / 16, 32, 64 mm / 2 %





Puristuslujuuden suhteellinen hajonta eri h/d-suhteilla.

91 vrk / 150 mm / 16, 32, 64 mm / 4 %



N = 48 Regression Models for Dependent Variable: PURLUJ

Number in Model	R-square	Adjusted R-square	C(p)	Variables in Model
1	0.54503374	0.53514317	403.09290	SIDEAINE
1	0.21787693	0.20087426	724.58813	SUHDE
1	0.17066842	0.15263948	770.97967	VRK
1	0.00105077	-0.02066551	937.66203	RAEKOKO
1	0.00085999	-0.02086045	937.84951	MUOTTI
2	0.76291067	0.75237337	190.98641	SUHDE SIDEAINE
2	0.71570216	0.70306670	237.37796	VRK SIDEAINE
2	0.54608451	0.52591049	404.06031	RAEKOKO SIDEAINE
2	0.54589373	0.52571122	404.24779	MUOTTI SIDEAINE
2	0.38854536	0.36136960	558.87318	VRK SUHDE
2	0.24050744	0.20675221	704.34925	MUOTTI SUHDE
2	0.21892771	0.18421338	725.55553	RAEKOKO SUHDE
2	0.17171920	0.13490672	771.94708	VRK RAEKOKO
2	0.17152841	0.13470745	772.13457	VRK MUOTTI
2	0.00191076	-0.04244876	938.81692	MUOTTI RAEKOKO
3	0.93357909	0.92905040	25.27147	VRK SUHDE SIDEAINE
3	0.78554118	0.77091898	170.74753	MUOTTI SUHDE SIDEAINE
3	0.76396145	0.74786791	191.95382	RAEKOKO SUHDE SIDEAINE
3	0.71675293	0.69744063	238.34537	VRK RAEKOKO SIDEAINE
3	0.71656215	0.69723684	238.53285	VRK MUOTTI SIDEAINE
3	0.54694450	0.51605435	405.21520	MUOTTI RAEKOKO SIDEAINE
3	0.41117586	0.37102876	538.63431	VRK MUOTTI SUHDE
3	0.38959613	0.34797769	559.84059	VRK RAEKOKO SUHDE
3	0.24155821	0.18984627	705.31666	MUOTTI RAEKOKO SUHDE
3	0.17257919	0.11616413	773.10198	VRK MUOTTI RAEKOKO
4	0.95620960	0.95213607	5.03259	VRK MUOTTI SUHDE SIDEAINE
4	0.93462987	0.92854893	26.23888	VRK RAEKOKO SUHDE SIDEAINE
4	0.78659195	0.76674004	171.71494	MUOTTI RAEKOKO SUHDE SIDEAINE
4	0.71761292	0.69134436	239.50026	VRK MUOTTI RAEKOKO SIDEAINE
4	0.41222664	0.35755005	539.60172	VRK MUOTTI RAEKOKO SUHDE
5	0.95726037	0.95217232	6.00000	VRK MUOTTI RAEKOKO SUHDE SIDEAINE

Model: MODEL1  
Dependent Variable: PURLUJ

## Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	5	2460.20044	492.04009	188.139	0.0001
Error	42	109.84268	2.61530		
C Total	47	2570.04313			

Root MSE	1.61719	R-square	0.9573
Dep Mean	15.53125	Adj R-sq	0.9522
C.V.	10.41249		

## Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T
INTERCEP	1	10.184523	1.80395150	5.646	0.0001
VRK	1	0.095966	0.00741020	12.950	0.0001
MUOTTI	1	-0.045466	0.00964122	-4.716	0.0001
RAEKOKO	1	-0.011886	0.01169708	-1.016	0.3154
SUHDE	1	-9.220711	0.60085364	-15.346	0.0001
SIDEAINE	1	5.402083	0.23342120	23.143	0.0001

Variable	DF	Standardized Estimate	Variance Inflation
INTERCEP	1	0.00000000	0.00000000
VRK	1	0.41312035	1.00000000
MUOTTI	1	-0.15533841	1.06626082
RAEKOKO	1	-0.03241565	1.00000000
SUHDE	1	-0.50549648	1.06626082
SIDEAINE	1	0.73826400	1.00000000

## TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 21/1993 Geotekniikan informaatiojulkaisuja: Pengerpaalutus. TIEL 3200147
- 22/1993 Liikenneväylän vaikutukset lähiympäristön yhdyskuntarakenteeseen; Väestö-, työpaikka- ja elinkeinorakenteen muutokset vt 3 Helsinki - Tampere -tien vaikutusalueella. TIEL 3200148
- 23/1993 Geotekniikan informaatiojulkaisuja: Pohjanvahvistusmenetelmän valinta. TIEL 3200149
- 24/1993 Geotekniikan informaatiojulkaisuja: Tiegeotekniikan yleiset suunnittelu-perusteet. TIEL 3200150
- 25/1993 Teknologien siirto, T<sup>2</sup> - keskuksen perustaminen. TIEL 3200151
- 26/1993 Pohjaveden suojausrakenteiden laadunvalvonta; Tutkimuksia ja suosituksia. TIEL 3200152
- 27/1993 Valaisinpylväiden perustaminen; Ympäristäytön laadun ja tiivistämistavan vaikutus pilariperustuksen siirtymiin. TIEL 3200153
- 28/1993 Nastallisen ja nastattoman liikenteen päällysteet, yhteenvedo. TIEL 3200154
- 29/1993 Tieinvestointien toteutustapa viidessä Euroopan maassa. TIEL 3200155
- 30/1993 Pasilan virastokeskuksen työmatka- ja työliikennetutkimus. TIEL 3200156
- 31/1993 Savo-Karjalan tiepiirin murskaustoiminnan kehittäminen.
- 32/1993 Tiemerkintöjen näkyvyys; Paluuheijastavuustutkimus Lapin tiepiirissä. TIEL 3200157
- 33/1993 Tiesuolan pohjavesivaikutusten mallintaminen Joutsenonkankaalla. TIEL 3200158
- 34/1993 Kalliomurskeiden tiivistyminen ja hienoneminen, esitutkimus. TIEL 3200159
- 35/1993 Strategic Highway Research Program (SHRP) - Longterm Pavement Performance (LTPP); Koeteillä tehdyt mittaukset vuonna 1992 ja tie-rakenteen vaurioitumiseen vaikuttavat tekijät. TIEL 3200160
- 36/1993 Palaturpeen käyttö lämpöeristeenä, raportti koerakenteiden rakentamisesta TIEL 3200161
- 37/1993 Talvikunnossapidon laadun logistiset vaikutukset. TIEL 3200162
- 38/1993 Sitomattomien kerrosten kiviainesten muodonmuutosominaisuudet; Kirjallisuusselvitys. TIEL 3200163
- 39/1993 Sitomattomien kerrosten kiviainesten muodonmuutosominaisuudet; Esiselvitysvaiheen kuormituskokeet. TIEL 3200164
- 40/1993 Teiden tasaisuusmittareiden vertailu; PTM:n, Roadmanin ja Tipstickin laitevertailu sekä epätasaisuuksien vaikutus tierasitukseen. TIEL 3200165
- 41/1993 Stabiloituneen materiaalin maksimiraekoon sekä koekappaleen koon ja muodon vaikutus puristuslujuuteen. TIEL 3200166
- 42/1993 Tieliiikennemelun mittaaminen; Opas. TIEL 3200167